



**VILLAMOSENERGIA-FELHASZNÁLÁST  
OPTIMALIZÁLÓ INNOVATÍV RENDSZER  
FEJLESZTÉSE IPARI-, LAKOSSÁGI  
FOGYASZTÓK ÉS ELEKTROMOS  
JÁRMŰVEK SZÁMÁRA  
2023**

**KONFERENCIA  
ELŐADÁSAI**

Miskolc, 2023. június 15.

**Miskolc**

**ISBN 978-963-358-299-2**

**Kiadta:**

Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Fizikai és Elektrotechnikai Intézet

Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

**Szerkesztette:**

**Dr. Pintér Judit Mária**

tudományos főmunkatárs

Miskolci Egyetem

**Tudományos Bizottság tagjai:**

Prof. Dr. Palotás Árpád Bence, Dr. habil. Bodnár István, Dr. Bencs Péter, Dr. Bölkény Ildi,  
Dr. Dobó Zsolt, Dr. Garami Attila, Dr. Lengyel Ákos József, Dr. Nagy Gábor, Dr. Rónai  
László, Dr. Szaszák Norbert, Dr. Kozsely Gábor, Dr. Pintér Judit Mária, Dr. Olajos Péter,  
Somogyiné Dr. Molnár Judit

**ISBN 978-963-358-299-2**

**Miskolc, 2023. június 15.**

A kiadványban megjelenő publikációk lektoráltak!

A kiadványban megjelenő tartalomért és a forrásmegjelölésért a kiadó felelősséget nem vállal!

A teljes felelősség a szerző(ke)t terheli!

## ELŐSZÓ

A Miskolci Egyetem számos közleményt jelentet meg, amelyek évtizedek óta hozzájárulnak a tudományos élet fejlődéséhez. E fejlődéshez csatlakozva a Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára 2023 című konferencia előadásaiból készült publikációk elektronikus kiadványa a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 azonosító számú projektben folytatott kutatómunkák legújabb közleményeit tartalmazza.

A 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 azonosító számú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára” című projektben a konzorcium vezetői feladatokat a PowerQuattro Zrt. látja el. A projekt konzorciumi tagja a Ferr-Váz Kft. és a Miskolci Egyetem. A projekt legfőbb célja olyan intelligens akkumulátoros energiatároló rendszerek fejlesztése, amelyek nem csak az ipari és a lakossági fogyasztókhoz, azok hálózataihoz illeszthetők, hanem alkalmasak elektromos járművekben történő alkalmazásra is. A projekt két fő irányvonalat definiált. Az egyik projektrészben az ipari és lakossági felhasználásra szánt rendszerek kutatása, fejlesztése és innovációja zajlik. A másik projektrész kifejezetten az elektromos járművekre, kiemelten a városi közlekedésre alkalmas buszokra koncentrál.

A projekt során célul tűztük ki, hogy kidolgozunk egy olyan koncepciót, amely a belső égésű motorral szerelt autóbuszok elektromos meghajtásúvá történő átalakításának tervét tartalmazza a műszaki és gazdasági optimum figyelembevételével. A kutatómunkánk során tanulmányoztuk a rendelkezésre álló szakirodalmakat és különböző műszaki és gazdasági számításokat, valamint környezeti hatásvizsgálatokat végeztünk, amelyek eredményeként kijelölésre kerültek a lehetséges autóbuszok köre, amelyek átalakítása megtérülő befektetés. Jelen ismeretek alapján a CNG üzemű szóló buszok elektromos meghajtásúvá történő átalakítása a legcélszerűbb a belsőégésű motorral szerelt buszok közül.

Jelen kiadvány a projekt első szakaszának kutatási eredményeit mutatja be, amely eredmények első sorban szakirodalmi források tanulmányozásán és az elsőkörös saját számítási, valamint mérési eredmények bemutatására koncentrál.

A projekt vezetősége fontos feladatának tekinti a kutatómunka különböző szakágain folyó tudományos kutatási tevékenységnek színvonalas publikálási lehetőséget biztosítani. A színvonalat a szervezőbizottság azzal is biztosítani kívánja, hogy a kötetben megjelenő valamennyi cikk alapos lektorálási folyamaton és szerkesztőbizottsági értékelésen megy keresztül. A publikálásra elfogadott cikkek magas színvonalának az is záloga, hogy a cikkek lektorálásánál minden esetben törekedtünk az adott szakterületen elismert, és független kutatót, szakértőt felkérni. A lektorok észrevételeit a szerzők megkapták, ezzel is elősegítve a minőségi publikáció megjelenését. A lektorálás alapos és szakmailag igényes elvégzése nem kis feladatot ró a felkért lektorokra, amiért ezúton is köszönetünket fejezzük ki valamennyi közreműködő lektornak.

Kelt: Miskolc, 2023. június 15.

Tudományos Bizottság

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>Bodnár István:</b> <i>Elektromos járművek töltési lehetőségei</i> .....	5
<b>Bodnár István:</b> <i>Az átalakított busz várható fogyasztásának elemzése</i> .....	11
<b>Boros Rafael Ruben:</b> <i>Elektromos járművekben alkalmazott motorok és inverterek</i> .....	19
<b>Bölkény Ildi:</b> <i>BMS rendszerek</i> .....	33
<b>Bölkény Ildi:</b> <i>BMS és fedélzeti számítógép kommunikáció</i> .....	39
<b>Fekete Tamás:</b> <i>Elektromos üzemű busz kompresszorának kérdései</i> .....	45
<b>Fekete Tamás:</b> <i>A pneumatikus vezérlési rendszer szerelésének ajánlásai a Volvo 7700 B9L típusú busz elektromos átalakítása kapcsán</i> .....	50
<b>Kozsely Gábor:</b> <i>Az akkumulátorok anyagainak fejlesztése</i> .....	54
<b>Kozsely Gábor, Szabó Norbert:</b> <i>Napelemek alkalmazása a közlekedésben</i> .....	62
<b>Lengyel Ákos József:</b> <i>Elektromos hajtáslánccal felszerelt autóbusz gyorsításához szükséges energia közelítő számítása</i> .....	67
<b>Lengyel Ákos József:</b> <i>Elektromos hajtáslánccal felszerelt autóbusz előírt gyorsulásához szükséges nyomaték meghatározása</i> .....	77
<b>Lénárt József:</b> <i>Volvo 7700 CNG típusú autóbusz gépészeti átalakítása akkumulátoros hajtásra</i> .....	87
<b>Matusz-Kalász Dávid:</b> <i>Elektromos városi közlekedésre szánt autóbuszok tűzoltó rendszer követelményeinek bemutatása</i> .....	93
<b>Nagy Gábor:</b> <i>Akkumulátorok elhelyezésének lehetőségei az elektromos buszok esetén</i> .....	102
<b>Rónai László:</b> <i>Volvo 7700 CNG típusú autóbusz pneumatikus rendszerének feltárása</i> .....	109
<b>Szabó Norbert:</b> <i>Mérő-adatgyűjtő és feldolgozó program fejlesztése elektromos busz teszteléshez</i> .....	115
<b>Szaszák Norbert:</b> <i>Belsőégésű motorral szerelt és elektromos meghajtású személyszállító buszokon alkalmazott fűtési és hűtési megoldások</i> .....	122

# ELEKTROMOS JÁRMŰVEK TÖLTÉSI LEHETŐSÉGEI

## CHARGING POSSIBILITIES OF ELECTRIC VEHICLES

**BODNÁR István**

Ph.D., egyetemi docens, istvan.bodnar@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,  
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A tanulmány az elektromos járművek töltési módjait, a töltőcsatlakozókat és a töltő teljesítményeket mutatja be. Elektromos autóknál jellemzően a 11 és a 22 kW-os váltakozó áramú töltőket, valamint az 50 kW teljesítményű egyenáramú gyorstöltőket alkalmazták. Elektromos buszok esetében ennél jóval nagyobb töltési teljesítmény szükséges, mivel az azokba beépített akkumulátorkapacitás is rendszerint 5-10-szer nagyobb. Elektromos buszoknál 75 és 200 kW közötti töltők léteznek. Azonban a jövő az 500 és 600 kW-os pantográf kialakítású villám-töltők irányába mutat.

**Kulcsszavak:** elektromos jármű, töltés, akkumulátor-kapacitás, töltőtöeljesítmény

**Abstract:** This paper presents the options for charging EVs, the charger ports and the charging powers. For electric cars, common quick chargers use 11-22 kW AC or 50 kW DC. In case of electric buses, however, more power is required as the built-in battery capacity is 5 to 10 times larger compared to cars. Therefore, the chargers for buses tend to use 75 and up to 200 kW AC power. The current ways seem to indicate that in the future, pantograph chargers with 500-600 kW AC will be the choice.

**Keywords:** electric vehicles, charging, battery capacity, charging performance

### 1. BEVEZETÉS

Világunk egyik legnagyobb problémája a környezetszennyezés. Ennek a legfőbb kiváltó oka az ipari tevékenység és az erőművek, fűtőművek károsanyag kibocsájtása, amelyhez, merőben hozzájárulnak a hagyományos, belső égésű motorral üzemelő járművek is. Az emberek manapság próbálnak környezettudatosabban viselkedni és különféle eszközöket használnak, hogy környezetbarátabbak legyenek és törekednek arra, hogy minél kisebb ökológiai lábnyomot hagyjanak maguk után. A laikusok többsége azt gondolja, hogy az elektromos hajtással rendelkező járművek használatával környezetbarátabbak, mint a hagyományos belső égésű motorral rendelkező járművet használó társaik. Ám ez (magyarországi viszonylatban) nem feltétlenül igaz.

Az elektromos járművekben található akkumulátor legyártása, a töltéshez szükséges energia előállítása, esetleges szállítása (importálása), annyi károsanyag kibocsájtást vonz maga után az autó teljes élethosszára kivetítve, hogy az ökológiai lábnyom mérete, szinte ugyanakkora, vagy akár nagyobb is lehet, mint a benzin és dízel üzemű autóké.

A skandináv országokban, mint pl. Svédországban, ahol a megújuló energia nagy mértékben rendelkezésre áll, és a villamosenergia termelés döntő részét ezekből a forrásokból nyerik, az elektromos hajtású járművek használata környezetvédelmi szempontból egy ténylegesen megtérülő beruházás. Ezzel ellentétben Magyarország nem rendelkezik kellő kapacitással, nemhogy megújuló energiaforrások terén, de még a nem megújuló energiaforrásokat használó villamosenergiatermelő kapacitása sem elegendő az igények kielégítésére így hazánk kénytelen villamosenergiát importálni a környező országokból. Valószínűleg az importált energia sem megújuló energiaforrást használva lett megtermelve, ezáltal a környezet terhelést tekintve semmivel sem jobb az a villamosenergia, mintha az Magyarországon lett volna előállítva egy széntüzelésű erőműben.

Az átlagembert viszont ez a szempont foglalkoztatja a legkevésbé. Őket jobban foglalkoztatja a potenciális járműre vonatkozó problémák, mint például a jármű hatótávolsága, a töltési lehetőségek, a töltőfajták vagy az akkumulátor élettartama. Emellett a vásárlót különféle kiváltóságokkal próbálják motiválni a vásárlásra, mint például ingyenes parkolás, ingyenes töltő pontok, állami támogatás az autó megvásárlásához stb. Részben ezeknek a kedvező feltételeknek köszönhetően az utóbbi időkben nőtt az elektromos és a hibrid hajtású autók száma Magyarországon.

## 2. ELEKTROMOS TÖLTŐK

Az elektromos autókban található akkumulátorok nagy (16 kWh-tól akár 60/85 kWh-ig) kapacitással rendelkeznek, ezáltal relatíve nagy mennyiségű energiát képesek tárolni, így manapság több száz kilométeres hatótávolságok érhetők el. Az elektromos járművek egyik csoportját képviselő e-buszokba beépített akkumulátortelemek akár tízszer akkora lehetnek, mint az elektromos személyautókban jellemzően használt akkumulátorok (250 – 400 kWh), és egy-egy kiterjedtebb közlekedési rendszer részeként sajátos követelményeket támasztanak.

Az e-járművek működtetéséhez szükséges energiát az elektromos hálózatról a töltőkábelrel keresztül lehet az akkumulátorokba vezetni. A töltés természetesen időt vesz igénybe, nem úgy, mint a szénhidrogén meghajtású járműveknél, hogy csak beállunk a töltő állomásra és 2 perc után mehetünk is a dolgunkra. Ez az idő attól függ, hogy egységnyi idő alatt mennyi villamos energiát tudunk az akkumulátorba tölteni. Vagyis mennyi áramot tud az elektromos hálózat biztosítani és mennyit képes a jármű elektromos rendszere fogadni. Azt, hogy mekkora áramot tud fogadni az autó a fedélzeti töltő teljesítményétől függ. Ez határozza meg, hogy mekkora maximális töltőáram fogadására képes a jármű. Hiába van ugyanis olyan nagy teljesítményű töltőnk, ami akár 22 kW töltési teljesítmény leadására képes, ha az autó saját töltője csak 3,6 kW teljesítményű. Az optimális megoldás az, ha az autónak a hálózati energiát biztosító töltőpont és a jármű saját fedélzeti töltője hasonló teljesítményűek [1].

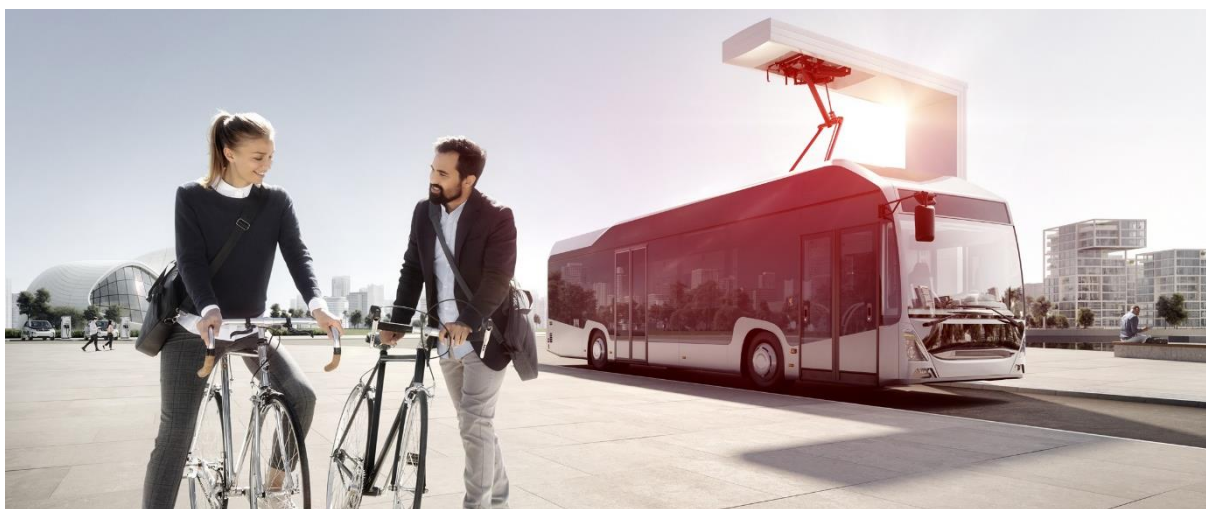
A fedélzeti töltő egy meglehetősen bonyolult és drága elektronikus rendszer, ami tartalmaz egy AC/DC konvertert is, ami a váltakozó áramot egyenárammá alakítja. Feladata fogadni és átalakítani az akkumulátor töltéséhez szükséges elektromos áramot, amit a töltőpontok biztosítanak. Az legtöbb autóban a fedélzeti töltőt utólag nem lehet nagyobb teljesítményűre cserélni, ezért kiváltképp fontos, hogy tisztában legyünk azzal, hogy ez a szerkezet milyen nagymértékben befolyásolja a töltés gyorsaságát és ezáltal a jármű használati értékét. Ha szeretnénk, hogy minél rövidebb ideig tartson a töltés érdemes nagyobb teljesítményű fedélzeti töltővel rendelni az autót. A különbséget a gyors töltésnél fogjuk észrevenni, amikor nagy töltőteljesítmény áll a rendelkezésünkre és a töltési idő attól fog függeni, hogy ezt a teljesítményt mennyire tudja hasznosítani az autó. A töltéshez használt töltőpontok, amelyekhez a töltőkábelrel csatlakoztatjuk a gépkocsit, tulajdonképpen egyfajta „intelligens kábelnek” nevezhetők. Angol elnevezésük EVSE – Electric Vehicle Supply Equipment – Elektromos Járművet Tápláló Eszköz szó szerinti fordításban, magyarosabban Elektromos Autó Töltő Készüléknek mondhatjuk [2].

Az EVSE az az eszköz, amit szinte mindenki egyszerűen csak elektromos autó töltőnek hív. De igazából az EVSE az az alkatrész, ami hasonlít a laptopok töltőjén lévő „dobozra”. Ezt minden autohoz adják, és a „dobozból” kimenő egyik kábelt a konnektorba, a másikat pedig az autohoz csatlakoztatva tudjuk tölteni az akkumulátort. Ugyanilyen EVSE a falra szerelhető és fixen beköthető töltő is, de a közterületeken található e-töltő oszlopok is. Az EVSE elsődleges feladata az, hogy garantálja a töltés biztonságát. Töltéskor olyan nagy értékű áramok folynak át a hálózatról az autó akkumulátoraiba, amelyek életveszélyeseknek számítanak, ebből kifolyólag a biztonság prioritást élvez minden szempont előtt. A töltőpontok vezérlői, amelyek maguk is kis mikroszámítógépek, egy meghatározott protokoll szerint, egy külön vezetéken, úgy-

nevezett Control Pilot jel segítségével kommunikál a jármű fedélzeti töltőjével. Az EVSE meghatározza, hogy mekkora energia fogadására képes az autó és az elektromos hálózat mekkora töltőáramot tud biztosítani a töltéshez. Ellenőrzi, hogy a töltőkábel mekkora áramot tud biztonságosan vezetni, azt is figyeli, hogy a védőföldelés csatlakoztatva van-e a járműhöz, és még több, további, a biztonság szempontjából fontos paramétert is vizsgál. Csak akkor kapcsolja az EVSE a jármű töltőjére a hálózati feszültséget és az autó töltője is csak akkor fogadja azt, ha mindent rendben talál [3, 4, 5].

Az Opportunity Charge – vagy rövidebb nevén az OppCharge – egy, a normál és az emeletes e-buszok automatizált töltéséhez használt nyílt interfész, amely pantográf (mozgatható áramszedő) segítségével csatlakoztatja a buszt a töltőállomásra. Az ABB Pantograph Down rendszere a nagy utaslétszám befogadására alkalmas elektromos buszok gyors és hatékony feltöltésére is képes. A töltőállomás leereszthető pantográfja a busz tetején kiépített sínrendszeren keresztül csatlakozik a jármű akkumulátorára, és akár 600 kW töltési teljesítményre képes.

A jellemzően 3-6 perc töltési idővel működő pantográf rendszer könnyen integrálható a már kiépített közlekedési hálózatokba és működése úgy biztosít nulla károsanyag-kibocsátást a nap folyamán, hogy semmilyen módon nem befolyásolja a járatok megszokott rendben történő közlekedését. Az 1. ábra szemlélteti a pantográf típusú töltést.



**1. ábra:** ABB típusú pantográf töltő.

Az a megoldás, hogy az elektromos busz felemelt pantográfon keresztül csatlakozik a töltőberendezésre, rendkívül egyszerű és gyors töltést biztosít. Amikor a busz beáll a megállóba, a vezető egy gombnyomással felemeli a pantográfot a busz tetejéről, így az érintkezésbe lép a megállóban az úttest fölé hajló töltőoszloppal. Ha a töltés megtörtént, illetve a busznak tovább kell haladnia, a pantográf automatikusan leválik az oszlopról és visszaáll eredeti helyzetébe. Az utasok le- és felszállásához szükséges idő épp elegendő ahhoz, hogy a busz további 10 km megtételéhez szükséges áramot kapjon. A végállomásokon jellemzően 3-6 perc alatt végrehajtott töltés a szokásos körülmények között a járat teljes útvonalának megtételéhez elegendő áramot biztosít a busz számára.

Az ABB felemelhető pantográffal működő busztöltő berendezései depóban végzett éjszakai töltésre is ugyanolyan alkalmasak. Egyetlen töltőberendezés akár három, úttest fölé behajló töltőoszlopot is el tud látni energiával, tehát három busz egyidejű töltését képes biztosítani. Ez esetben a töltőberendezés szekvenciálisan tölti fel a buszokat, ami csökkenti a csúcsterhelés esetén felmerülő energiaköltséget és intelligens módon úgy osztja be a töltőáramot, hogy minden csatlakoztatott járművet tökéletesen feltöltsön, mielőtt az ismét szolgálatba lép. Az ABB felemelhető, illetve leereszthető pantográfos megoldásokat egyaránt kínál. A pantográf típusú töltőrendszerek még kevésbé elterjedtek, ezért még csak egy alternatívaként gondolhatunk rá.

Az elektromos járművek töltésére vonatkozó szabvány 4 féle módot különböztet meg:

- **Mode1** - Lassú töltés háztartási dugaljából, beépített védelem nélkül. Nem jellemző alkalmazás.
- **Mode2** - Lassú töltés (2,3-3,5 kW). Jellemző töltési idő 8-12 óra háztartási dugaljából, a kábelbe szerelt elektronikus vezérlőeszközön (ICCB) keresztül. A töltőkábel az elektromos autó alaptartozéka.
- **Mode3** - Normál töltés (7,4-22 kW). Váltóáramú (AC) töltés töltőberendezésről, beépített vezérlő és védelmi funkciókkal. Becsült töltési idő az autó fedélzeti töltőjétől függően, 1,5-7 óra. A 22 kW-os verziókra a gyorsöltő megnevezést is használják.
- **Mode4** - Nagy teljesítményű gyorsöltés (40 kW felett). Egyenáramú (DC) töltés, villámöltésnek is nevezik. Töltési idő az akkumulátor méretétől függően akár 30 perc a töltöttség 80%-ig. [3, 4, 5].

Az elektromos buszokban alkalmazott töltési szabvány az IEC 61851-23, azaz a Mode4. A Mode4 töltők a szabvány előírása szerint csak fix kábelek lehetnek, aljzat nincs rajtuk, saját töltőkábelrel azokhoz nem lehet csatlakozni. Kivéve, ha váltakozó áramú töltőről van szó, mivel azon található töltő-aljzat. Maga a töltőkábel vastag, robosztus felépítésű, hiszen nagyon nagy áram folyik rajta [3, 4, 5].

Az egyenáramú töltőknek három fajtája terjedt el Európában. Az egyik a japán autógyártók által kifejlesztett CHAdeMO csatlakozójú, amit természetesen leginkább az ázsiai autókban találhatunk meg, mint a Nissan, a Kia vagy a Mitsubishi. A másik kettő fajta csatlakozású töltőt, a Type2 és az ebből a csatlakozóból továbbfejlesztett CCS csatlakozós töltőt főleg az európai márkák, mint például a BMW és a Volkswagen, autókban találhatjuk meg [3, 4, 5].

A CCS (Combo Charging System) vagy másnéven COMBO csatlakozók úgy épülnek fel, hogy egy csatlakozó szolgál a Mode2 / Mode3 váltakozó áramú és a Mode4 egyenáramú töltésre is. Ezt úgy kell elképzelni, hogy egy csatlakozó aljzatba van integrálva a kombinált csatlakozó [3, 4, 5].

A Magyarországon telepített villámöltők többsége CHAdeMO rendszerű, vagy ezt a szabványt is támogatja. Az újabban telepített töltők között azonban már többségben vannak azok, amelyek dupla (CHAdeMO és CCS) vagy tripla szabványosak (az előbbi kettő mellett váltóáramú AC töltésre is képesek). Fontos tudni, hogy ezeken egyszerre CHAdeMO és CCS szabványú autó együtt nem tölthető, de némelyiknél lehetőség van a CHAdeMO vagy a CCS töltés mellett a Type2-es csatlakozón keresztül váltóáramú töltésre (2. ábra) [3, 4, 5].

A hazai piacra szánt elektromos buszok (pl.: BYD és Ikarusz) szintén ezen töltőtípust és csatlakozást alkalmazza. A kifejezetten elektromos buszok töltésére szolgáló villámöltők (minimálisan 75 kW teljesítményűek) CCS2 típusú töltéscsatlakozóval vannak ellátva. A 3. ábra szemlélteti a CCS2 típusú töltőcsatlakozó-aljzatot, amely egy elektromos busz hátulján található [3, 4, 5].



2. ábra: CHAdeMO, CCS és Type2 csatlakozó (balról jobbra).





3. ábra: CCS2 típusú csatlakozóaljzat.

Elektromos buszok esetében a töltési teljesítmény elvárás minimálisan 100 kW csúcsteljesítmény az adott töltőfejen (több csatlakozó párhuzamos működése esetén is külön-külön csatlakozónként egyidőben 100 kW csúcsteljesítmény leadásra legyen képes), vagy minimálisan 150 kW csúcsteljesítmény az adott töltőfejen (több csatlakozó párhuzamos működése esetén külön-külön csatlakozónként egyidőben legalább 75 kW csúcsteljesítmény leadásra legyen képes, kétfejes töltő esetén egy töltőfej használatakor 150 kW csúcsteljesítmény leadása elvárás). Lényegében tehát a kiépítendő töltőállomás teljesítménye nem lehet kevesebb 150 kW-nál. Mindezekon kívül az e-busznak meg kell felelnie a közúti közlekedés szabályainak.

Az e-busz járműre vonatkozó, az üzemeltetés helyén és az üzembe helyezésekor hatályos jogszabályi előírásokat, az érvényes műszaki szabványokat, a vonatkozó európai közösségi irányelveket, rendeleteket és egyéb előírásokat az autóbusz gyártójának és szolgáltatójának, valamint ajánlattevőnek be kell tartania, a műszaki leírás elkészítéséhez figyelembe kell vennie.

Ezek különösen:

- 6/1990. (IV.12.) KÖHÉM rendelet, a közúti járművek forgalomba helyezésének és forgalomban tartásának műszaki feltételeiről;
- 5/1990 (IV.12) KÖHÉM rendelet, a közúti járművek műszaki megvizsgálásáról 661/2009/EK 107 irányelvek 77/2009 (XII.15.) KHEM-IRM-KHVM együttes rendelet, a közúti járművek környezetvédelmi felülvizsgálatának szabályairól;
- 1988. évi I. törvény, a közúti közlekedésről;
- 2012. évi XLI törvény, a személyszállítási szolgáltatásokról;
- 48/2011. (III.30.) Kormányrendelet a környezetkímélő és energia hatékony közúti járművek beszerzésének előmozdításáról.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányban bemutatásra kerültek az elektromos járművek töltésére szolgáló töltőberendezések és töltési módok. Láthattuk, hogy az e-buszok az e-autókhoz képest akár tízszer nagyobb akkumulátorkapacitással rendelkeznek, így ezen járművek esetében nagy teljesítményű töltőberendezésekre van szükség. Az e-buszok töltése történhet az e-autókéhoz hasonló módon

is, azonban a pantográf kialakítású villámtöltők a külső beavatkozást nem igénylő, azaz automatikus csatlakozás miatt a jövőben valódi megoldást fog jelenteni. Az ilyen kialakítású töltők nagy előnye, hogy az e-busz megállóban történő 1-2 perces tartózkodása ideje alatt is alkalmas a töltési feladat ellátására anélkül, hogy a sofőrnek el kellene hagynia a vezetőfülkét. A jövőben egyre nagyobb lesz az igény a néhány perces töltési idők kihasználására, így a pantográf töltők elterjedése várható.

#### **4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

#### **5. FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Elektromos autó töltő típusok és fajták listája, [HTTPS://E-CARS.HU/ELEKTROMOS-AUTO-TOLTO-TIPUSOK-ES-FAJTAK-LISTAJA/](https://e-cars.hu/elektromos-auto-tolto-tipusok-es-fajtak-listaja/) (Megtekintés dátuma: 2021.04.08.)
- [2] Mi az az EVSE?, [HTTPS://VILLANYAUTOSOK.HU/2018/01/22/MI-AZ-AZ-EVSE/](https://villanyautosok.hu/2018/01/22/mi-az-az-evse/) (Megtekintés dátuma: 2021.04.09.)
- [3] E-töltő kisokos e-on, [HTTPS://WWW.EON.HU/CONTENT/DAM/EON/EON-HUNGARY/DOCUMENTS/E-MOBILITAS/E\\_TOLTO\\_KISOKOS\\_ONLINE\\_FINAL.PDF](https://www.eon.hu/content/dam/eon/eon-hungary/documents/e-mobilitas/e_tolto_kisokos_online_final.pdf) (Megtekintés dátuma: 2021.04.08.)
- [4] Elektromos autó töltő típusok, [HTTPS://VILLANYAUTOSOK.HU/ELEKTROMOS-TOLTO-ALLOMASOK-MAGYARORSZAGON/ELEKTROMOS-AUTO-TOLTO-TIPUSOK/](https://villanyautosok.hu/elektromos-tolto-allomasok-magyarorszagon/elektromos-auto-tolto-tipusok/) (Megtekintés dátuma: 2021.04.08.)
- [5] Elektromos autó töltő típusok, fontos technikai tudnivalók, [HTTPS://GATECONNECTION.HU/ELEKTROMOS-AUTO-TOLTO-TIPUSOK-FONTOS-TUDNIVALOK/](https://gateconnection.hu/elektromos-auto-tolto-tipusok-fontos-tudnivalok/) (Megtekintés dátuma: 2021.04.08.)

## AZ ÁTALAKÍTOTT BUSZ VÁRHATÓ FOGYASZTÁSÁNAK ELEMZÉSE

### ANALYSIS OF THE EXPECTED CONSUMPTION OF THE CONVERTED BUS

**BODNÁR István**

PhD, egyetemi docens, istvan.bodnar@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,  
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A tanulmány egy elektromos busz tesztelési tapasztalatait mutatja be a villamosenergia-felhasználáson keresztül. Ezek alapján elemzés készült az átalakított busz fogyasztására és töltésére vonatkozóan. A vizsgálat három különböző használati intenzitás és három különböző töltési teljesítmény alapján történt. A számítások során megvizsgáltam, hogy egy végállomáson, illetve mindkét végállomáson történő rövid töltés, hogyan hat az akkumulátor töltöttségi állapotára. Összességében 18 esetet vizsgáltam két viszonylat menetgörbéjére vonatkoztatva.

**Kulcsszavak:** dízel, CNG, elektromos busz, akkumulátor-kapacitás, töltőteliesség

**Abstract:** This paper presents the testing experiences of an electric bus through electricity consumption. Based on these, an analysis was made regarding the consumption and charging of the converted bus. The test is based on three different usage intensities and three different charging powers. During the calculations, I examined how short charging at one end station or at both end stations affects the state of charge of the battery. In total, I examined 18 cases related to the curve of two conditions.

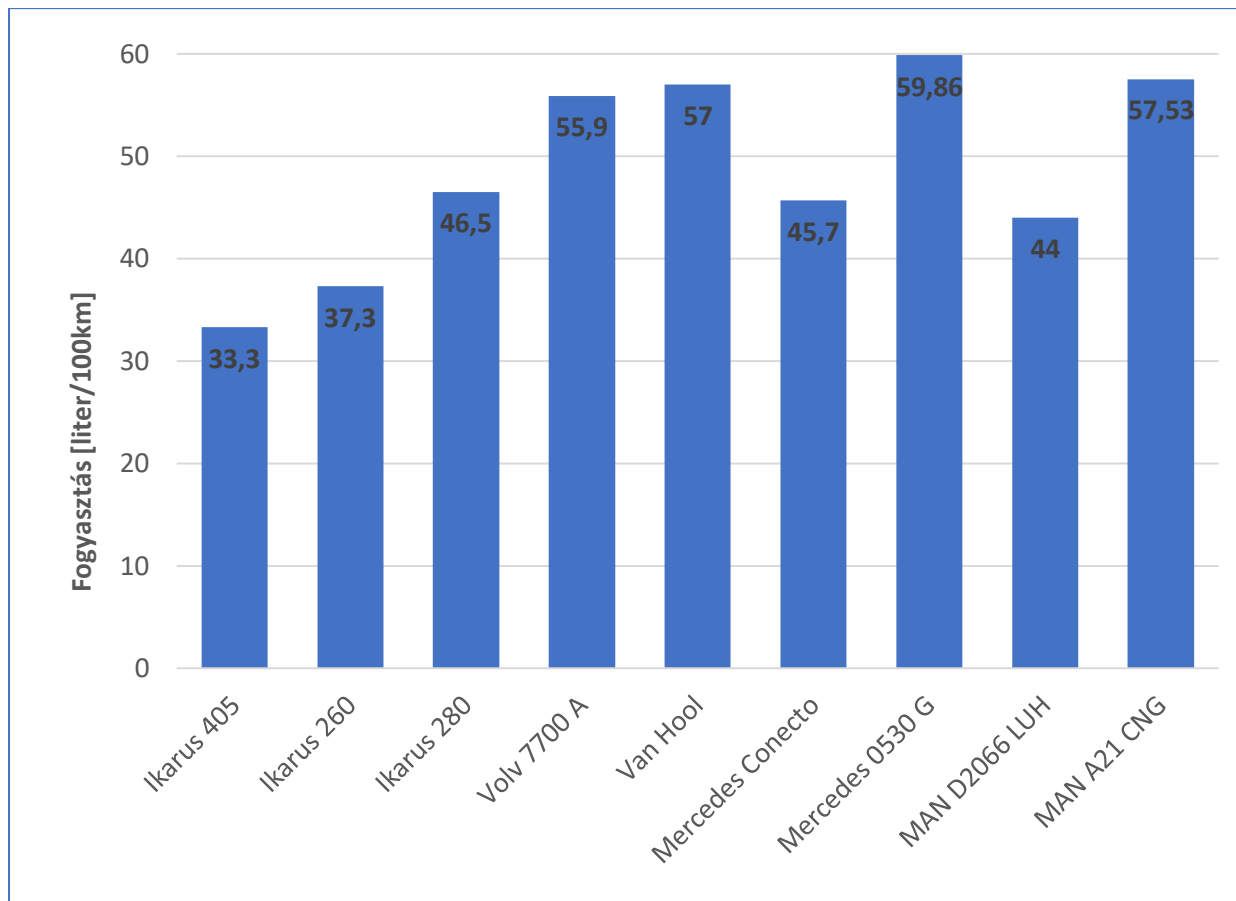
**Keywords:** petrol, CNG, electric bus, battery capacity, charging performance

## 1. BEVEZETÉS

A városi tömegközlekedésben egyre nagyobb szerepet kapnak az elektromos járművek. Korábban, az akkumulátorok ára, kisfokú energiasűrűség-tárolási tulajdonságai és a várható kis élettartamuk miatt jellemzően villamosokat és trolibuszokat alkalmaztak. Azonban ezek olyan infrastruktúra kiépítést igénylik, amelyek beruházási és üzemeltetési költségei szintén nem elhanyagolhatóak. Az akkumulátorok folyamatos fejlődésének köszönhetően az elektromos buszok immáron valódi alternatívájává váltak a trolibuszoknak, így sorra jelentek meg a városi tömegközlekedési vállalatoknál. Az elektromos közlekedési járművek nagy előnye, hogy a károsanyag-kibocsátásuk nem közvetlenül a városi levegőt terhelik, amely jellemzően a téli időszakban alapvetően erősen szennyezett. Ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az elektromos járművek üzemanyagául szolgáló villamosenergia sokszor környezetszennyező és rossz hatásfokú erőművekben kerül előállításra, amely lényegében csak a szennyezőforrás áthelyezését jelenti. Mindez magával vonja, hogy nem elegendő a belső égésű motorok forgalomból történő kivonása és elektromos meghajtású járművekre való átállás, ha a villamosenergia-termelés környezetkímélőbbé tétele nem valósul meg. Számos alternatív energiaforrás ismert, amelyek közül hazánkban a napelemek térhódítása a legintenzívebb. Napjainkban már kétszer annyi a napelemes erőművek hazai kapacitása, mint a Paksi Atomerőműnek. Az elkövetkező években ez az érték meg is duplázódhat, amely maga után vonja az energiatárolók beépítését. Kézen fekvő megoldás az elektromos járművek akkumulátorainak használata, azaz olyan e-töltő rendszerek kialakítása, amelyek napelemekkel és adott esetben helyi akkumulátoros energiatárolókkal van kiegészítve.

## 2. BELSŐÉGÉSŰ MOTOROS ÉS ELEKTROMOS BUSZOK FOGYASZTÁSA

A belső égésű motorral szerelt buszok üzemanyagfogyasztási értékei igencsak szórnak. A 1. ábra néhány tipikusan használatban lévő busz átlagfogyasztását tartalmazza. A MAN A21 CNG busz esetében a fogyasztás kg/100 km mértékegységben került megadásra.



1. ábra: Belső égésű motorral szerelt buszok üzemanyagfogyasztása.

Elektromos meghajtású buszok esetében 1 km-re vonatkoztatva szokás megadni az üzemanyagfogyasztást. Az 1. táblázat tartalmazza a jellemző fogyasztási adatokat [4, 5, 6].

1. táblázat: Elektromos buszok átlagos fogyasztási adatai.

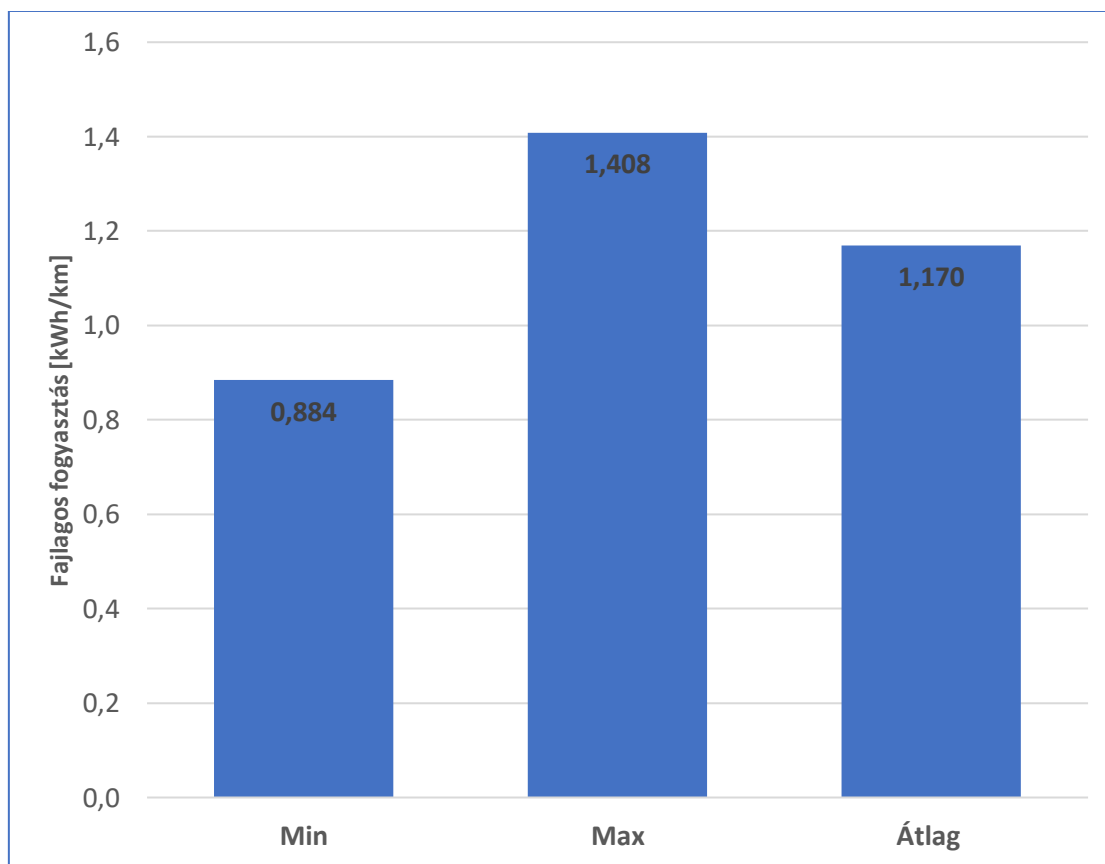
Legkisebb fogyasztás	Átlagos fogyasztás	Legnagyobb fogyasztás
kWh/km		
0,65 – 0,75	1,1 – 1,3	1,5 – 1,8

A BKV által 2012. júliusában tesztelt tisztán elektromos busz fogyasztási adatait a 2. táblázat tartalmazza. A megtett út és az összfogyasztás alapján meghatározott fajlagos fogyasztási értékeket a 2. ábra szemlélteti. A 2. ábrán látható, hogy a 11,5 tonna önsúlyú, utasokkal együtt maximálisan 19-20 tonna tömegű szóló elektromos busz fajlagos fogyasztása a tesztelt belvárosi szakaszokon jellemzően 1,17 kWh/km értékkel jellemezhető [1].

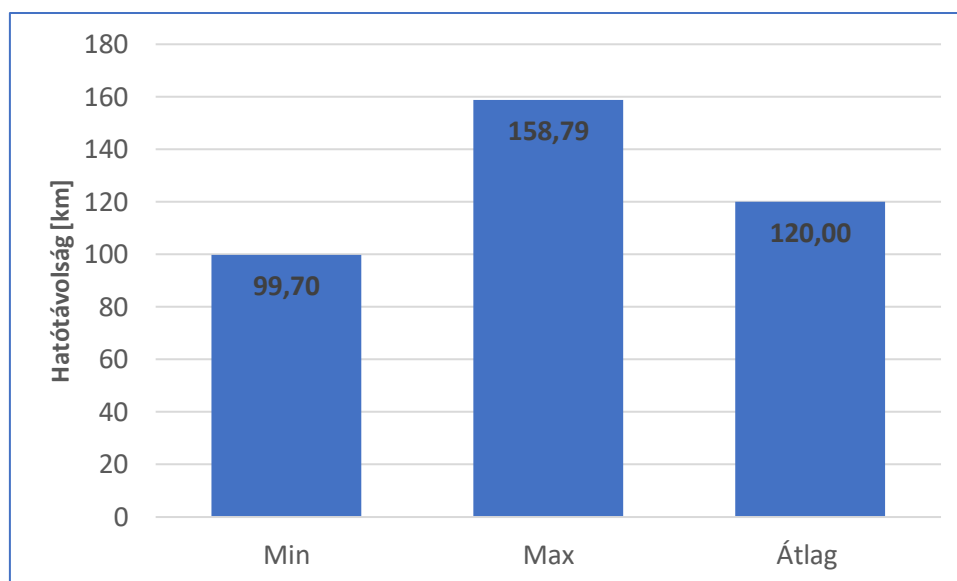
Amennyiben az átalakított busszal szemben 75 km megtétele az elvárás és a tesztfogyasztás átlagával számolunk, továbbá a biztonsági tényezőt 1,6-os szorzóval vesszük figyelembe, akkor 140,4 kWh akkumulátorkapacitás beépítése szükséges. A 3. ábra szemlélteti a várható hatótávolságokat a fentebbi fogyasztások és biztonsági tényező alkalmazása esetében.

**2. táblázat:** BYD típusú elektromos busz fogyasztási adatai [1].

Dátum	Viszonylat	Megtett km	Felhasznált %	Fogyasztás/nap (kWh)
2012.07.11	240E	189	63%	211
2012.07.12	172E	189	53%	178
2012.07.13	172E	188	50%	168
2012.07.14	112	123	50%	168
2012.07.15	178	111	31%	104
2012.07.16	102	176	66%	221
2012.07.17	172E	190	50%	168
2012.07.18	88	139	39%	131
2012.07.19	240E/40	144	51%	171
2012.07.20	240E	159	57%	191
2012.07.21	112	109	41%	137
2012.07.22	178	112	37%	124
2012.07.23	102	176	71%	238
2012.07.24	105	169	71%	238
2012.07.25	105	170	68%	228
2012.07.26	26	118	42%	141
2012.07.27	26	123	47%	158
2012.07.28	112	123	51%	171



**2. ábra:** BYD típusú elektromos busz fajlagos villamosenergia-fogyasztása.



**3. ábra:** Az átalakított busz várható hatótávolsága.

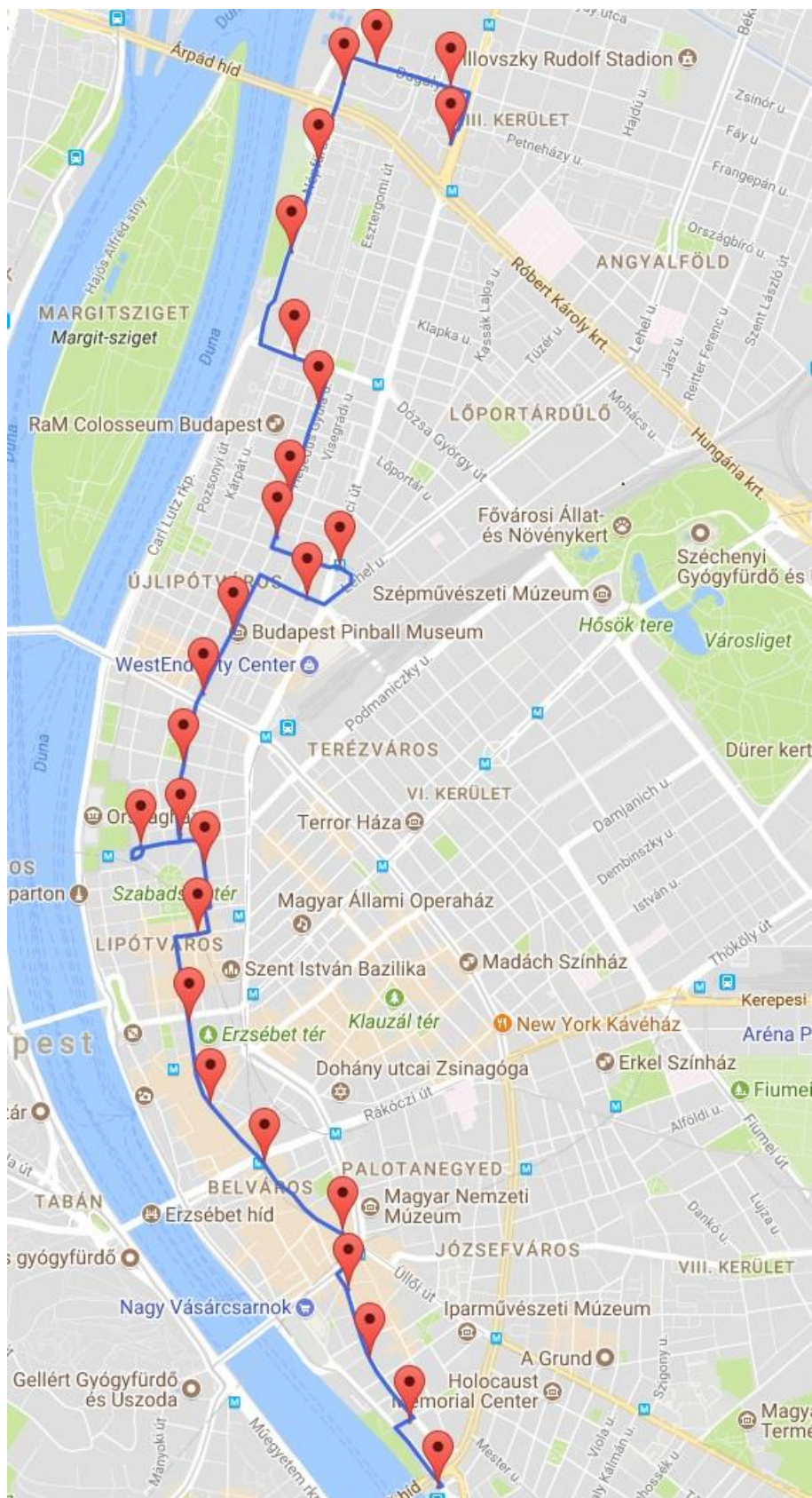
Tekintve, hogy a BKV weboldalán sikerült konkrét elektromos buszra vonatkozó fogyasztási adatokat találni, ezért a BKV buszjáratok közül kiválasztottam 2 viszonylatot (115 és 178 jelű buszvonalak), amelyekre vonatkozóan további számításokat végeztem. A 115 jelű viszonylat (4. ábra) egy tisztán pesti szakasz, míg a 178-as viszonylat (5. ábra) Pestet és Budát köti össze. Ez utóbbi viszonylaton a tesztelt elektromos jármű két forgalmi napot is töltött, így konkrét számításokat is el tudtam végezni. A 115-ös vonal 42 perces menetidővel rendelkezik és egyirányban csaknem 9 km-t tesz meg. A 178-as viszonylat 46 perces menetidővel és csaknem 10 km-es végállomástávolságokkal dolgozik [2]. Lényegében mindkét vonal esetében egységesen 10 km-rel lehet számolni. Egy munkanapi menetrendnaptár szerint mindkét viszonylat esetében 110 és 120 km közé tehető az egyműszakos rend szerinti napi megtett távolság.

A járat várható fajlagos fogyasztása a 2. táblázat alapján 0,94 kWh/km és 1,11 kWh/km értékek közé tehető. Ez átlagosan 1,03 kWh/km fajlagos fogyasztást jelent. Egyirányban a várható fogyasztás a 115 és a 178 jelű viszonylatokat alapul véve 8,46 kWh és 11,1 kWh érték közé tehető. Ha csak egy forgalmi végállomáson van lehetőség töltésre, akkor 16,92 kWh és 22,2 kWh közé tehető a villamosenergia-felhasználás.

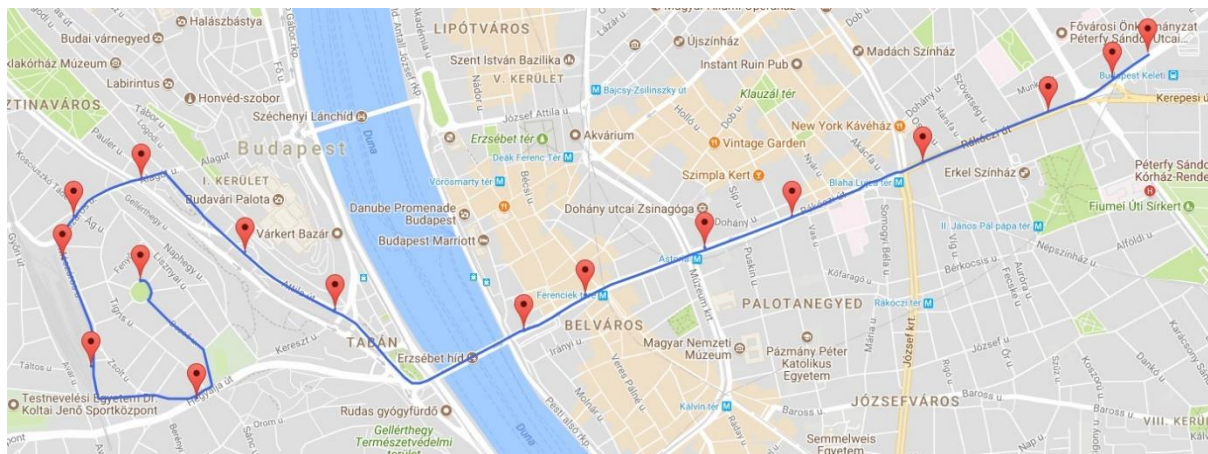
Tekintve, hogy a busz egyéb rendszerének a működtetése (hűtés/fűtés, pneumatika, hidraulika, stb.) szintén villamos meghajtásra kerül átalakításra, várhatóan további energiaigénnyel kell számolni. A kiegészítő berendezések várható fogyasztása óránként 12 kWh, amely a szükséges segédberendezések órás fogyasztási adataiból származnak. Ez azt jelenti, hogy a busz várható összefogyasztása akár elérheti az irányonkénti 20,46 kWh és 23,1 kWh értéket. Egy forgalmi végállomásos töltés esetében 40,92 kWh és 46,2 kWh közötti maximális bruttó fogyasztással kell számolni. Ezek alapján a várható maximális fajlagos fogyasztás a legrosszabb esetben is 2,27 kWh/km és 2,31 kWh/km közé tehető, amely átlagosan 2,29 kWh-t jelent. A belső égésű motorral szerelt buszok fajlagos fogyasztása rendszerint 3,3 kWh/km és 6 kWh/km között mozog, illetve átlagosan 4,7 kWh/km értékre adódik. Elektromos busz esetében ezen értékek alacsonyabbak az elektromos motorok jobb hatékonyságának köszönhetően.

Összességében tehát elmondható, hogy az átalakításra került busz maximális fogyasztása egy teljes oda-vissza útra (fordára) vonatkoztatva maximális utaslétszám és legnagyobb hűtés/fűtésigény esetében minden bizonnyal nem fogja meghaladni az 50 kWh értéket. Ez az érték a legrosszabb eshetőség. Kisebb utaslétszámok, illetve kedvezőbb környezeti hőmérsékletek esetében a valós fogyasztás a felére csökken.





4. ábra: A 115 jelű viszonylat útvonalterképe [3].



5. ábra: A 178 jelű viszonylat útvonalterképe [3].

### 3. FORDÁK ALAKULÁSA A HASZNÁLATI INTENZITÁS ÉS TÖLTÉSI PARAMÉTEREK FÜGGVÉNYÉBEN

Az átalakítást követően az elektromos busz menetdiagramjainak felvételéhez az alábbi alapadatokból indultam ki (3. táblázat).

3. táblázat: Alapadatok a menetdiagramok elkészítéséhez.

<b>Használati intenzitás</b>	<b>Fajlagos fogyasztás (kWh/km)</b>
Alacsony intenzitás	1
Közepes intenzitás	1,5
Magas intenzitás	2
<b>Töltési intenzitás</b>	<b>Töltési teljesítmény (kW)</b>
Kicsi	75
Közepes	100
Nagy	150
Akkumulátor kapacitás	150 kWh
Egyirányú futási teljesítmény	10 km
Menetidő egy irányban	45 perc
Töltésre rendelkezésre álló idő	10 perc (+5 perc technológiai idő)
<b>Használati intenzitás</b>	<b>Várható órás fogyasztás (kWh/óra)</b>
Alacsony intenzitás	10
Közepes intenzitás	15
Magas intenzitás	20
<b>Töltési intenzitás</b>	<b>Várható töltési energia (kWh/10 perc)</b>
Kicsi	12,50
Közepes	16,67
Nagy	25,00



A 4. táblázat mutatja, hogy a különböző használati és töltési intenzitások során hogyan változik az akkumulátorcsomag töltöttségi állapota a 3. táblázatban bemutatott futási teljesítmény, menetidő és töltésre rendelkezésre álló idő esetében.

**4. táblázat: Akkumulátorcsomag energiaváltozása (kWh/óra mértékegységben).**

<b>Intenzitás</b>	<b>Alacsony használat</b>	<b>Közepes használat</b>	<b>Magas használat</b>
<b>Kicsi töltési</b>	2,50	-2,50	-7,50
<b>Közepes töltési</b>	6,67	1,67	-3,33
<b>Nagy töltési</b>	15,00	10,00	5,00

Megfigyelhető, hogy alacsony használat esetében minden végállomáson történő töltés esetében a 10 perces töltési idő alatt bevihető energiamennyiség és a 10 km alatt elfogyasztott energiamennyiség különbsége pozitív, azaz a járműben alkalmazott 150 kWh kapacitású akkumulátorcsomag a nap végére is 100%-os töltöttségi szinten lesz.

Abban az esetben, ha közepes intenzitású használattal üzemel a busz, akkor a kicsi töltési intenzitásnál már negatív az energiamérleg. De még így is 60 forduló megtétele után merülne le teljesen az akkumulátora a busznak. Magas használati intenzitásnál kicsi és közepes intenzitású töltéssel használva előbbinél 20, utóbbinál pedig 45 forduló után merülne le teljesen az akkumulátor. Tekintve, hogy az akkumulátorcsomagot nem szabad 20%-nál alacsonyabb töltöttségi szintre meríteni, így a fordaszámok rendre 48, 16 és 36 darabra csökkennek. Mivel nem valószínű, hogy a napi fordulatszám 16 feletti lenne, ezért a busz minden esetben képes lenne a műszak végén a garázsba önerőből visszajutni. Abban az esetben, ha csak egy végállomáson lenne töltésre lehetőség, akkor az energiamérleg az 5. táblázatban szereplő értékekre változna.

**5. táblázat: Akkumulátorcsomag óránkénti energiaváltozása (kWh/óra) mértékegységben.**

<b>Intenzitás</b>	<b>Alacsony használat</b>	<b>Közepes használat</b>	<b>Magas használat</b>
<b>Kicsi töltési</b>	-7,50	-17,50	-27,50
<b>Közepes töltési</b>	-3,33	-13,33	-23,33
<b>Nagy töltési</b>	5,00	-5,00	-15,00

Megfigyelhető, hogy ha csak egy végállomáson van lehetőség töltésre, akkor kizárólag az alacsony használatú és nagy töltési intenzitásnál pozitív az energiamérleg. Minden más esetben a busz akkumulátorának töltöttségi szintje töltéssel is tovább csökken. Mindezek alapján meghatároztam a napi elméleti és gyakorlati oda-vissza utas (kétirányú) fordák számát, amelyet a 6. és a 7. táblázat tartalmaz.

**6. táblázat: Elméleti napi oda-vissza fordák száma.**

<b>Intenzitás</b>	<b>Alacsony használat</b>	<b>Közepes használat</b>	<b>Magas használat</b>
<b>Kicsi töltési</b>	20,00	8,57	5,45
<b>Közepes töltési</b>	45,00	11,25	6,43
<b>Nagy töltési</b>	nem releváns	30,00	10,00

**7. táblázat: Gyakorlati napi oda-vissza fordák száma.**

<b>Intenzitás</b>	<b>Alacsony használat</b>	<b>Közepes használat</b>	<b>Magas használat</b>
<b>Kicsi töltési</b>	16,00	6,86	4,36
<b>Közepes töltési</b>	36,00	9,00	5,14
<b>Nagy töltési</b>	nem releváns	24,00	8,00

A 6. táblázat alapján, elméletileg csak a magas használati intenzitásnál a kicsi és a közepes töltési intenzitás esetében nem lenne meg a napi 8 oda-vissza fordá. Tekintve, hogy az akkumulátorcsomag ezen esetekben sem merülhet 20%-os töltöttségi szint alá, így a 7. táblázat darabszámai a mérvadók. Ezen értékek alapján már a közepes használati intenzitás és kicsi töltési intenzitás esetében sem teljesülne a napi fordaszám, tehát célszerű, ha mindkét végállomáson van e-busz töltő berendezés.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatómunka során azt vizsgáltam, hogy a különböző használati intenzitás, a különböző töltési teljesítmények és az egy, vagy mindkét végállomáson történő rövid ideig tartó töltés, hogyan befolyásolja az elektromos busz akkumulátorainak töltöttségi állapotát, a napi fordák számát. A számítási eredményekből az a következtetés vonható le, hogy a kis töltési teljesítmény és a nagy használati intenzitás mellett a csak egy forgalmi végállomáson történő töltéssel a busz nem képes teljesíteni az elvár napi fordaszámot. Mindkét végállomáson történő töltés már kedvezőbben hat a megtehető napi fordákra. Tekintve, hogy a későbbiekben várhatóan nem csak egy átalakított buszból fog állni a flotta és a gyárilag elektromos meghajtású buszok is tölthetők ugyanazon töltőberendezésről, így javasolt minden forgalmi végállomásra e-töltőt telepíteni. Ezzel a megoldással a villamosenergia-rendszer terhelése is egyenletesebb lenne, mert nem egyszerre kellene tölteni több száz e-buszt, hanem napközben arányosan szétosztva.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

#### 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BKV ZRT.: *Összefoglaló jelentés a BYD K9B alacsonypadlós, elektromos városi szóló autóbusról.* 2012. p. 9. [https://static.bkv.hu/ftp/ftp/tesztbuszok/byd\\_lezaro\\_jelentes.pdf](https://static.bkv.hu/ftp/ftp/tesztbuszok/byd_lezaro_jelentes.pdf) (Megtekintés dátuma: 2022. március 10.)
- [2] [HTTPS://BKK.HU/MENETREND-UTAZASTERVEZES/](https://BKK.HU/MENETREND-UTAZASTERVEZES/) (Megtekintés dátuma: 2022. március 11.)
- [3] <https://bkk.hu/menetrend-utazastervezes/terkepek/budapest-csomoponti/> (Megtekintés dátuma: 2022. március 11.)
- [4] MVK Zrt.: *Miskolci tapasztalatok a BYD elektromos busszal.* <https://villanyautosok.hu/2022/07/12/miskolci-tapasztalatok-a-byd-elektromos-busszal/> (Megtekintés dátuma: 2022. július 12.)
- [5] LUDÁNYI J.: *A Tüke Busz Zrt. megkezdte a BYD elektromos autóbuszok tesztüzemét.* <https://magyarbusz.info/2020/09/03/a-tuke-busz-zrt-megkezdte-a-byd-elektromos-autobuszok-tesztuzemet/> (Megtekintés dátuma: 2022. július 12.)
- [6] E-cars: *Elektromos buszt állítottak tesztüzembe Veszprémben.* <https://e-cars.hu/2021/10/13/elektromos-buszt-allitottak-tesztuzembe-veszpremben/> (Megtekintés dátuma: 2022. július 12.)

# ELEKTROMOS JÁRMŰVEKBE ALKALMAZOTT MOTOROK ÉS INVERTEREK

## MOTORS AND INVERTERS USED IN ELECTRIC VEHICLES

**BOROS Rafael Ruben**

egyetemi tanársegéd, ruben.boros@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,  
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A tanulmány az elektromos járművekben alkalmazott állandó mágnesű szinkron motor és aszinkron motor beépítésének lehetőségét és összehasonlítását végzi el egy Volvo 7700 típusú busz esetében. Továbbá bemutatásra kerül általánosságban az elektromos járművekben alkalmazott inverterek és annak vezérlési technikái. A tanulmány táblázatosan összehasonlítja továbbá az egyszerű vezérlés, a szinuszos impulzusszélesség-moduláció és a térvektoros szinuszos impulzusszélesség-moduláció. Az előző technikák alapján eltér az inverterek kimenetén mért áram és feszültség teljes harmonikus torzítása. Ezek kulcsfontosságú minőségi paraméterek, mivel ettől függ nagymértékben a nyomatéknak a folyamatossága.

**Kulcsszavak:** aszinkron motor, szinkron motor, inverter, e-busz

**Abstract:** This paper investigates and compares the possibility of using a permanent magnet synchronous motor and an asynchronous motor in an electric vehicle on a Volvo 7700 bus. Furthermore, the inverters used in electric vehicles and their control techniques are presented in general. The paper also provides a comparison of simple control, sinusoidal pulse-width modulation, and space vector sinusoidal pulse-width modulation. Based on the previous techniques, the total harmonic distortion of the measured current and voltage at the output of the inverters differs. These are key quality parameters, since the ripple of the torque depends to a large extent on them.

**Keywords:** induction motor, synchronous motor, inverter, e-bus

## 1. BEVEZETÉS

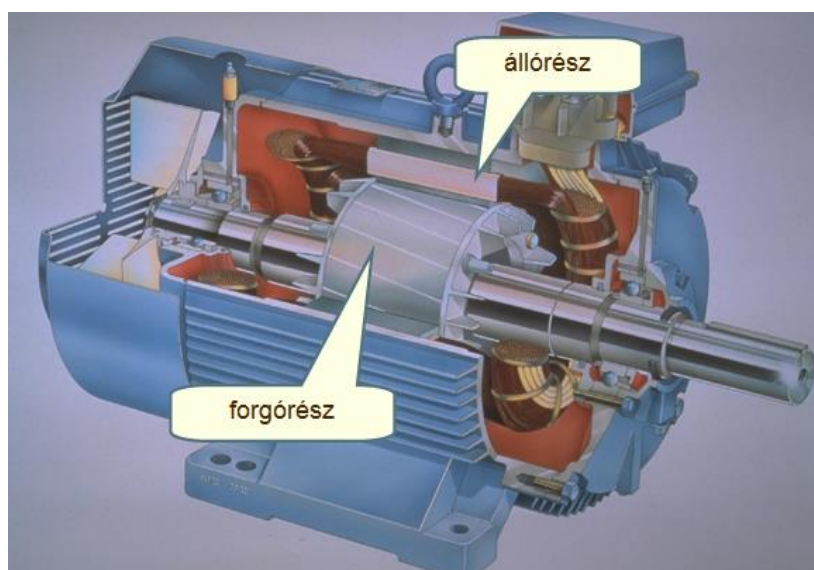
A világon az elektromos járművek egyre gyorsabb ütemben terjednek, a gyártók fokozatosan térnek át az elektromos járművek gyártására. A nagyvárosok is ma már inkább csak újonnan beszerzett elektromos buszokat állít forgalomba. Ezzel a lépéssel a városban a levegő minősége is javul, mert az elektromos buszoknak nincs közvetlen károsanyag-kibocsátása. Jelenleg számos város küzd azzal a problémával, hogy a belsőégésű motorral szerelt járművek élettartama lejár, vagy már többé nem éri meg őket fenntartani. Ilyenkor felmerülhet az a kérdés, hogy megéri-e átalakítani akár a dízel, akár a CNG üzemanyag hajtású járművek elektromossá történő átalakítása. Gazdasági szempontból erre a kérdésre a mindenkori energiaárak adnak választ, jelenleg megéri. Környezeti hatás szempontjából pedig minden esetben kifizetődő az átalakítás, ugyanis számos busznak a járműszerkezete jó állapotú és rozsdamentes acélból épülnek. Ilyen járművek például a Volvo 7700 típusú buszok [2].

A tanulmány bemutatja, hogy milyen elektromos motortípusokat érdemes beépíteni a járműszerkezetbe és hogyan érdemes elhelyezni. Összehasonlításra kerül az aszinkron és állandó mágnesű szinkron motorok a költség, hatásfok, fenntarthatóság, dinamikusság szempontjából. Továbbá a motorhoz tartozó inverterek is szintén összehasonlításra kerülnek, a feszültség és áram teljes harmonikus torzítását figyelembe véve. Bemutatásra kerülnek a vezérlési módszerek, azok sematikus blokk-sémája, hatásvázlata.

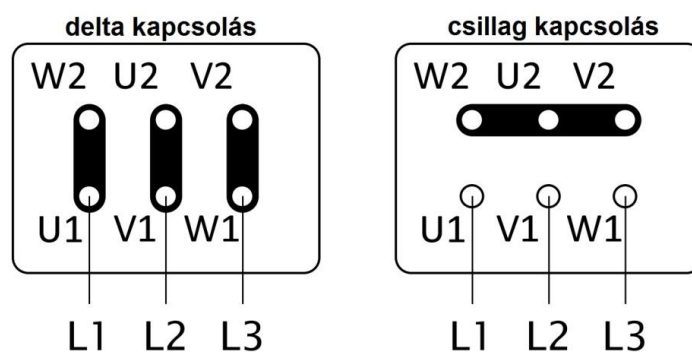
## 2. ASZINKRON MOTOROK A VONTATÁSBAN, ELEKTROMOS JÁRMŰVEKBEN

Az aszinkron gépek (másnéven indukciós gépek) állórésze és forgórésze egyaránt lemezelte kivitelben készülnek az örvényáramok csökkentése céljából. A dinamólemezekből (amelyek 0,5-0,7 mm vastagságúak, 1-2% szilíciumötvözt tartalmaznak, és az egyik oldalukon lakk- vagy oxidréteggel szigetelvek) összeállított lemezcsomagjai alkotják az álló-, illetve forgórészvastestet. Az állórészhez két oldalához pajzsok illeszkednek. A forgórészvastest a gépek tengelyére van erősítve, és a pajzsoknál van csapágyazva. A légrés mérete teljesítménytől függően:  $\delta = 0,3-1,5$  mm. Az állórészvastest belső kerületén lévő hornyokban helyezkedik el az állórész-tekerceselés. Ez a primer tekerceselés, amely a hálózathoz csatlakozik. A forgórészvastest külső kerületén lévő hornyokban a forgórész (szekunder) tekerceselés foglal helyet. A forgórész csúszógyűrűs vagy rövidrezárt kivitelben készülhet. A rövidrezárt, vagy kalickás forgórészű motorok hornyaiban egy-egy szigetetlen, alumíniumból öntött vezető van, ezeket rudaknak nevezzük. A rudakat a vastest két oldalán gyűrűk kötik össze, zárják rövidre. A gyűrű külső oldalán ventilációs lapátokat alakítanak ki. A gép külső felületén hűtőborda található, melyet a tengely egyik végén elhelyezett ventilátorlapát hűt. A melegedést a vasvesztés és a tekercesben folyó áram okozza. A tengely másik végén reteszkötéssel tovább adható a nyomaték. Az aszinkron gép felépítése látható az 1. ábrán.

A háromfázisú aszinkronmotorok állórész-tekerceselés kezdeteinek jelölése U1, V1, W1; végződéseinek pedig U2, V2, W2 (2. ábra). A tekercesek kivezetései az állórészházra rögzített kapocstáblához vannak csatlakoztatva. A tekercesek csillagba vagy deltába kötése három darab vezetősín segítségével oldható meg [3].



1. ábra: Az aszinkron gép felépítése.



2. ábra: Kapocstábla a vezetősínekkel.

A három fázisvezetőt az U1, V1, W1 pontokra kell kötni. A védőföldet, a motor földelőcsavarjához kell kötni. A három bekötőléc (vezetősín) elhelyezésével csillag és delta-kapcsolás hozható létre, attól függően, hogy milyen táphálózatra kötjük be a gépet. A 3x400 V hálózatba való kötésnél a motorokat, melyek 230/400 V feszültségre lettek méretezve csillagkapcsolásba kötjük, a 3 kW, vagy annál nagyobb teljesítményű motorokat pedig deltakapcsolásba kötjük üzemszerűen, ezek 400/690 V-ra vannak méretezve. A motor forgórészének a forgásirányát, egyben az állórész mágneses mező irányát úgy lehet megváltoztatni, hogy bármely két fázisvezetőnek a sorrendjét megcseréljük. Léteznek nagyobb motorok 1.000 V, 3.000 V, 6.000 V feszültségre tervezve, amelyeket ipari nagyteljesítményű motoroknál alkalmaznak.

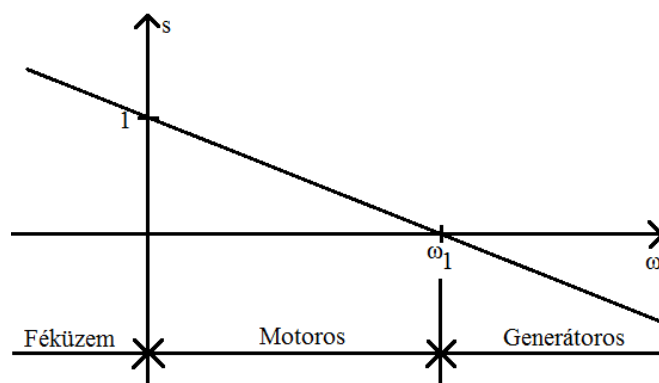
A háromfázisú tekercsrendszert a hálózatra kapcsolva létrehozza a légrésben a forgó mágneses mezőt, amelynek  $n_0$  szinkron fordulatszámát a hálózat  $f_1$  frekvenciája és a tekercs  $p$  póluspárok száma határozza meg (1. képlet).

$$n_0 = \frac{f_1 \cdot 60}{p} \quad (1.)$$

A mágneses mezőt az állórész-tekercsekben folyó mágnesező áram tartja fenn. A mágneses mező a lemezelt forgórész hornyaiban lévő vezetőkben feszültséget indukál. A zárt áramkörben kialakuló forgórészáram és a forgó mágneses mező kölcsönhatásaként olyan forgatónyomaték keletkezik, amely a forgórészt a mágneses mezővel azonos irányban forgatja. A forgórész  $n$  fordulatszáma nem érheti el a szinkron fordulatszámot külső beavatkozás nélkül, mert akkor megszűnik az induktív kapcsolat a forgórész és állórész között, így a feszültségindukálás is.

A mágneses mező és a forgórész fordulatszám különbségének viszonylagos értékét szlipnek nevezzük, amelynek értéke (2. képlet). A szlip változását a szögsebesség, illetve a fordulatszám függvényében a 3. ábra szemlélteti.

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (2.)$$



3. ábra: A szlip változása a körfrekvencia függvényében.

Ha a szlip értéke 0 és 1 között van, akkor motoros üzembről beszélünk, ilyenkor a motor mechanikai teljesítményt ad le a tengelyén és villamos teljesítményt vesz fel a hálózatról.

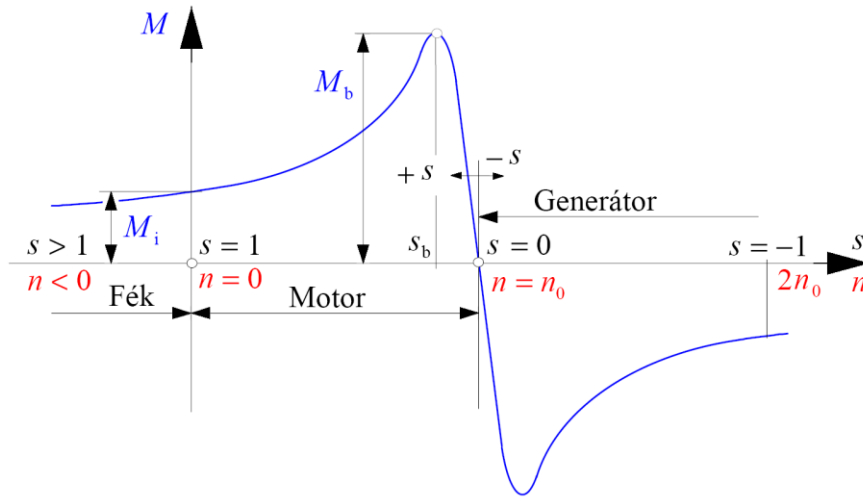
A gép generátoros üzemben működik, ha külső nyomaték segítségével hajtjuk a gép tengelyét és az  $n_0$  szinkron fordulatszám felé növeljük a forgórész fordulatszámát, ekkor a gép hatáso teljesítményt ad le a hálózatnak és a szlip értéke kisebb, mint 0.

A frekvenciaváltóról táplált aszinkron gép generátorosan fékezésbe vihető, ha az állórész gerjesztve van, a forgórész fordulatszáma nagyobb, mint a szinkron fordulatszám. A szinkron

fordulatszámot mindig kevesebbre kell szabályozni, mint a rotor fordulatszáma, ekkor a gép majdnem nulla fordulatszámig fékezhető. Ilyenkor a hálózathoz nem szükséges teljesítményt felvennie a gépnek, hiszen saját magának megtermeli a gerjesztéshez szükséges villamos energiát.

Féküzemről beszélünk, ha a forgórészt külső nyomaték segítségével, a mágneses mezővel ellentétes irányban forgatunk és a motor a hálózathoz villamos teljesítményt vesz fel, a szlip értéke nagyobb, mint 1. Másik módszer, hogy egyenfeszültséget kötünk az állórészre (egy 400 V-os motor esetében elég 10-20 V), ekkor is féküzem jön létre.

Az aszinkron gép nyomaték-szlip jelleggörbéje a 4. ábrán látható.



4. ábra: Az aszinkron gép nyomaték-szlip jelleggörbéje.

Az indítónyomaték ( $M_i$ ) a névleges nyomaték körüli, vagy annál kisebb nyomaték. Az indítónyomatékot a 3. képlet írja le. Amikor a forgórész nem forog, akkor erősen induktív jellegű, fázistényezője kicsi, így a nyomaték is kicsi. A motor tengelye akkor tud forgásba jönni, amikor a terhelőnyomaték ( $M_t$ ) kisebb, mint az indítónyomaték.

A forgórész gyorsulása közben a nyomaték a billenőnyomatékig nő ( $M_b$ ). A billenőnyomaték számítását a 4. képlet írja le. A nyomaték azért növekszik, mert a fordulatszám növekedésével csökken a szlip, csökken a forgórész  $f_2$  frekvenciája. A csökkenő frekvencián kisebb lesz a forgórész induktív ellenállása, ezáltal növekszik a  $\cos\varphi_2$  fázistényező. A nagyobb fázistényező növekvő nyomatékot eredményez.

A billenőnyomaték utáni gyorsulás folyamán a nyomaték meredeken csökken. A csökkenés oka: a fázistényező már csak keveset növekszik, de a forgórész árama tovább csökken, mivel az indukált feszültség a szlip csökkenése miatt egyre kisebb lesz. A névleges nyomaték ( $M_n$ ) ennek a meredek szakasznak megközelítőleg a közepén található, amit az 5. képlet ír le.

$$M_i = \frac{m_i}{2 \cdot \pi \cdot n_0} \cdot (I'_{2Z})^2 \cdot R'_2 \quad (3.)$$

$$M_b = \frac{m_1}{2 \cdot \pi \cdot n_0} \cdot \frac{U_1^2}{2 \cdot X_s} \quad (4.)$$

$$M_n \approx \frac{M_b}{2} \quad (5.)$$

A következő egyenlet (6. egyenlet) az aszinkron gép nyomatékának a közelítő egyenlete, amely alapján a 4. ábra felrajzolható.

$$M = \frac{m_1}{2 \cdot \pi \cdot n_0} \cdot \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_s} \cdot \frac{R_2'}{s} \quad (6.)$$

A szinkronfordulatszám szabályzás történhet úgy, hogy a  $p$  pólusszámot kapcsolgatjuk, vagy a primer frekvenciát változtatjuk. A hálózat frekvenciája konstans  $f_1 = 50$  Hz, ezért azt nem lehet szabályozni, csak erre a célra alkalmas frekvenciaváltóval lehetséges, ez fokozatmentes szabályozást tesz lehetővé. A pólusszámot kapcsolgatni körülményes, ritkán alkalmazzák, és nem tesz lehetővé fokozatmentes szabályozást. Az aszinkron motor fordulatszám szabályozása történhet még ellenállással, kaszkád-kapcsolással, csillag-delta kapcsolással, szlip változtatással. A primer frekvencia változtatásával az aszinkron motor szinkron fordulatszáma változik.

Ahhoz, hogy a motor nyomatéka, terhelhetősége ne változzon meg, a gép fluxusának közel állandónak kell lennie. Ezt a feltételt az indukált feszültség egyenletéből adódóan úgy tudjuk betartani, hogy a frekvenciával arányosan változtatjuk a motorra kapcsolt feszültséget. Az állórész-tekerceselésben indukált feszültség fázisonként (7. képlet):

$$U_{i1} = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \Phi_{max} \cdot \xi_1 \quad (7.)$$

$N_1$  a tekercselés fázisonkénti menetszáma,  $\xi_1$  a tekercselési tényező és a  $\Phi_{max}$  a forgófluxus csúcserőértéke. A forgórészben indukált feszültség frekvenciája a forgó mezőhöz viszonyított fordulatszám-különbséggel arányos (8. képlet):

$$f_2 = (n_0 - n) \cdot p \quad (8.)$$

A forgórész álló helyzetében  $s = 1$ , ekkor  $f_2 = f_1$ , tehát az indukált feszültség (9. képlet):

$$U_{i20} = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \Phi_{max} \cdot \xi_2 \quad (9.)$$

Forgó állapotban az indukált feszültség (10. egyenlet):

$$U_{i2} = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \Phi_{max} \cdot \xi_2 = 4,44 \cdot s \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \Phi_{max} \cdot \xi_2 \quad (10.)$$

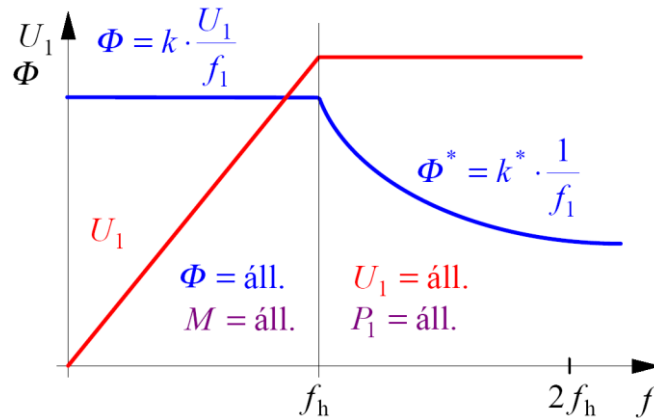
A két egyenlet hányadosát képezve látható, hogy a forgórész indukált feszültsége a szlippel arányosan változik (11. képlet):

$$U_{i2} = s \cdot U_{i20} \quad (11.)$$

A frekvenciaváltóról táplált aszinkron motorokkal kapcsolatban több szabályozástechnikai probléma jelentkezik. A hajtás optimális kihasználása érdekében a szlip-frekvencia nem lehet nagyobb, mint a billenőszlip-frekvencia.

Az áramtúlterhelést is ki kell küszöbölni, a szlipnek még a névleges szlip alatt kell maradnia. Ezért célszerű a szlippet mérni és ennek alapján a frekvenciaváltó (inverter) frekvenciavezérlését úgy végezni, hogy egy meghatározott beállítható szlip-frekvenciát ne lépünk túl. Ezenkívül biztosítani kell, hogy a motort mindig a megfelelő, a frekvenciával arányos feszültség táplálja. Erre egyrészt azért van szükség, hogy a gép fluxusa a vas kihasználása miatt névleges értéket ne lépje túl, másrészt azért, hogy a névleges fluxust elérjük, a motor nyomatékát a lehető legkisebb árammal fejtsse ki, és a névleges nyomatékot bármely fordulatszámon elérhesse. Ezt a feltételt el lehet érni úgy, hogy a feszültséget közvetlenül a frekvenciával arányosan szabályozzuk.

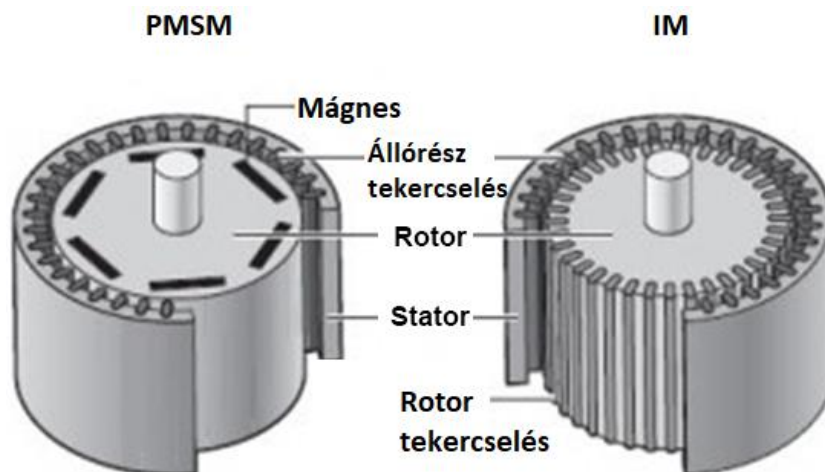
Az 5. ábrán két szakasz látható. Az első szakaszban a frekvenciát és a feszültséget növeljük az  $f_h$  határfrekvenciáig arányosan, ekkor a fluxus és a nyomaték konstans. A névleges feszültséget elérve, már nem lehet tovább növelni a motor kapcsaira kapcsolt feszültséget, a frekvenciát viszont igen. Ekkor jelentkezik az a hátrány, hogy a fluxus csökken, így a motor nyomatéka is, a motor teljesítménye nem növekszik tovább. A második szakaszban mezőgyengülésről beszélünk, nem tévesztendő össze az egyenáramú gépeknél alkalmazott mezőgyengítésről. Itt kényszerek miatt gyengül a mező, nem szándékosan gyengítjük.



5. ábra: Feszültség-frekvencia szabályozás.

### 3. TOVÁBBI LEHETSÉGES MOTORTÍPUSOK ALKALMAZÁSA

Kevésbé robusztusabb motorokat is építenek be napjainkban az elektromos járművekbe. Az indukciós motorral érdemes összehasonlítani az állandó mágneses szinkron gépet (angolul: Permanent Magnet Synchronous Motor). Az állandó mágneses szinkron motorok az AC szinkron motorok egyik típusa, ahol a mezőt állandó mágnesek gerjesztik, amelyek szinuszos elektromotoros erőt generálnak. Rotort és állórészt tartalmaz, mint az indukciós motor, de állandó mágneset használnak rotorként a mágneses mező létrehozására, ezért nincs szükség tekercselésre a forgórészhez. A 6. ábrán látható a két motor között a szerkezeti különbség.



6. ábra: PMSM és IM motorok összehasonlító ábrája.

A következő táblázat (1. táblázat) többféle szempontból hasonlítja össze a két motor típust. Ezek alapján lehetséges eldönteni, hogy melyik típust érdemesebb beépíteni az elektromos buszba.

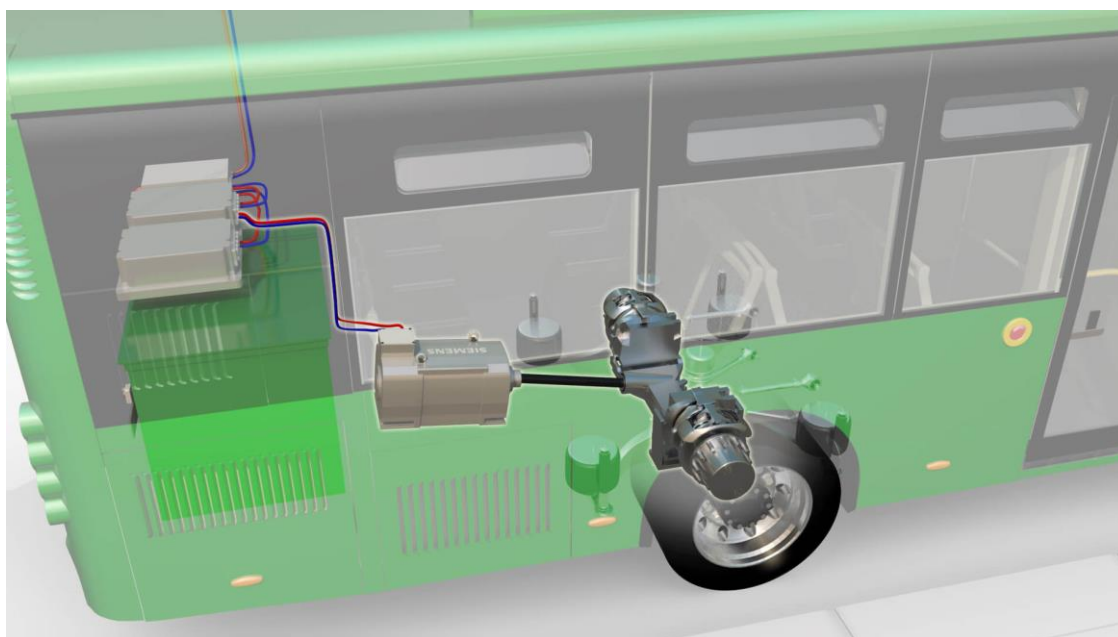


**1. táblázat: PMSM és IM motor összehasonlítása.**

<b>Összehasonlítás</b> + jobb, ++ sokkal jobb - rosszabb, -- sokkal rosszabb = egyenlő tulajdonság	<b>PMSM</b>	<b>IM</b>
Méret / teljesítménysűrűség	+	-
Hatásfok	+	-
Tehetlenségi nyomaték	+	-
Robusztusság	--	++
Hőmérséklet tartomány	-	+
Költsége	-	+
Nagy nyomatékú igénybevétele	++	--
Nagy fordulatszámú igénybevétele	=	=
Üzembiztoság	-	+
Inverter költsége	+	-

Amennyiben a busz motorterében elegendő a hely, inkább az indukciós motorokat célszerű beépíteni. Ennek főbb oka, hogy sokkal robusztusabb, megbízhatóbb és olcsóbb az inverter hozzá, mindemellett a szabályozási elv is sokkal egyszerűbb, mivel nincs szükség a rotorpozíció megállapításához. Továbbá az indukciós motorok túlterhelésének következtében nem szűnik meg a nyomaték, ellenben a PMSM-mel. A szinkron gépek túlterhelés esetén kiesnek a szinkronból és ekkor nem adnak le nyomatékot sem.

Tapasztalatok alapján legalább 180-200 kW teljesítményű motor beépítése szükséges a Volvo 7700 típusú solo buszba. A Volvo gyártott 7900e sorozatot is, amely tisztán elektromos, 180 kW teljesítményű motorral felszerelt. A 7900e busz fizikai paraméterei közel megegyeznek a 7700-as busz paramétereivel. A vontatómotort a hátsó tengely közelében célszerű elhelyezni, a 7. ábrán látható módon. A motortérben nem csak a motor foglalna helyet, hanem a hozzá tartozó teljesítményelektronikai berendezések, mint például az inverter. Ilyen teljesítményű és teljesítménysűrűségű motor esetén szükség van vízűtésre, amely a motor állórésztekerceselését hűti. Ennek helyigényére is gondolni kell a motor elhelyezésekor. A vízűtéshez hűtőborda, tömlők, keringtető szivattyú is hozzátartozik.

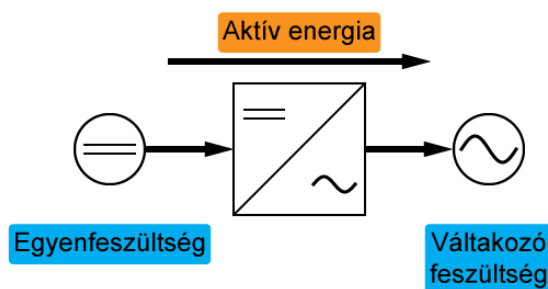


**1. ábra:** A vontatómotor lehetséges elhelyezése.

#### 4. TELJESÍTMÉNYELEKTRONIKAI BERENDEZÉSEK – INVERTER

A váltóirányítók, vagy más néven inverterek egyenfeszültséget vagy áramot alakítanak váltakozó feszültséggé vagy árammá. Nagyon fontos teljesítményelektronikai áramkörök egy sor fontos alkalmazással. Jól tudott, hogy a fogyasztói villamos hálózat, legyen egy vagy háromfázisos, a szállított feszültség effektív értékével és a feszültség állandó frekvenciájával jellemezhető. Másrészről egy sor gyakorlati alkalmazás (pl. aszinkron gépek fordulatszám szabályozása, speciális szervomotor vezérlések, indukciós hevítések, villamos vontatások, stb.) megkívánják a betápláló feszültség frekvenciájának és effektív értékének a változtatását és bizonyos esetekben a standard 1, 3 fázistól való eltérést is. Ennek a feladatnak az elektromechanikus megvalósítása igen költséges és már elavult a gyenge hatásfok és az állandó karbantartás szükségessége miatt.

Az egyenáram váltakozó árammá való átalakítása többféleképpen megvalósítható. Egy inverter képes terhelés oldali külső természetes kommutációval működni, ha a terhelés mondjuk szinkron motor. Ezek az üzemmódok azonban elég speciálisak és az átalakítás csak akkor lehetséges, ha a kommutációs energia forrása a bemeneti váltakozó áramú hálózat vagy a terhelő köri szinkron motor rendelkezésre áll. Kizárólag belső saját kényszerkommutációval működő inverterrel érdemes foglalkozni, hiszen csak ezek képesek a váltakozó áramú kimeneti energia paramétereinek megfelelő változtatásához. Egy ilyen áramkör blokk diagramját ismerteti a 8. ábra. Az átalakító bemeneti egyenáramú és egy olyan lokális váltakozó áramú hálózatot valósít meg, amelyhez egy vagy több felhasználói terhelés is csatlakoztatható. A kimeneti energetikai paraméterek a váltakozó áramú kimeneten a teljesítmény félvezető elemek vezérlési (kapcsolási) módjától fognak függeni. Általában hasznos (aktív) energia folyik az egyenáramú rész felől a váltakozó áramú rész felé, de az olyan alkalmazásokban ahol a terhelés aktív, azaz fogyasztóból generátor üzemmódba tud kerülni, biztosítani kell az energiaáramlás lehetőségét mindkét irányba, azaz a váltakozó áramú rész felől az egyenáramú rész felé is. Ha ez nem lehetséges, akkor más módszerekkel kell a visszanyert energia átvételéről gondoskodni, pl. egy impulzus üzemben vezérelt ellenállás alkalmazásával. Ezen biztonsági intézkedések híján a terhelés nem fog megfelelően működni és veszélyezteti az átalakító helyes működését is [1].



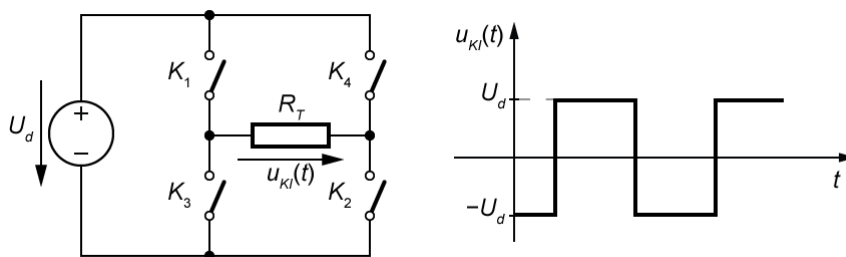
8. ábra: Inverter blokksémája.

A frekvenciaváltók osztályozására nagyon sokféle kritérium létezik. A fázisszám szerint pl. vannak egyfázisú, három vagy több polaritású inverterek. A kapcsoló félvezető eszközök szerint vannak tirisztoros vagy teljesen vezérelhető teljesítményfélvezetős frekvenciaváltók: tranzisztorok (bipoláris teljesítmény tranzisztor, teljesítmény MOSFET, IGBT) vagy GTO tirisztorok. A kommutáció típusa szerint ugyancsak két kategóriát különböztetünk meg: tirisztoros frekvenciaváltók vagy belső kényszerkommutációs átalakítók és tranzisztoros vagy GTO tirisztorok melyek a belső saját kommutációs kategóriába sorolhatók. Az inverterek általában egy helyi szabályozható áramforrást jelentenek. Ebből a szempontból

megkülönböztetünk váltakozó feszültség betáplálás jellegű frekvenciaváltókat és váltakozó áram jellegű frekvenciaváltókat. A feszültség jellegét, áram vagy feszültség, a közbenső egyenáramú kör határozza meg a belső kényszerkommutációs átalakítóknál, míg a belső saját kommutációs frekvenciaváltóknál az alkalmazott vezérlési stratégia határozza meg. Ha a frekvenciaváltó áramkörének analizésétől és szintézisétől indulunk, akkor a leghasznosabb osztályozást úgy kapjuk, hogy a terhelés áramának vagy feszültségének formáját vesszük figyelembe. Ebből a szempontból is két kategóriát különböztetünk meg: moduláció nélküli és modulációs frekvenciaváltók. Ez utóbbiak lehetnek impulzusszélesség modulációs (ISZM, PWM), több feszültség-szintes vagy térfazoros modulációs (áram, feszültség) inverterek.

Köztudott, hogy egy váltakozó áramú jelnek a középértéke nulla és az effektív értékkel és frekvenciával jellemezhető. Ezen az általános szinten nézve a dolgokat, a frekvenciaváltók hasonlatosak az egyenáramú szaggatókhoz, melyeket 50% kitöltési tényezővel üzemelnek, ily módon a kimeneti jel középértéke nulla lesz. Ebben az esetben a hasznos jel, amely megmarad a kimenő váltakozó feszültség lesz, az effektív értékével és frekvenciájával jellemezve. Ezt a jelet adjuk a váltakozó áramú terhelésre. A frekvencia szabályozását egyszerűen a szaggató(k) működési frekvenciájának a változtatásával lehet megvalósítani. Az effektív érték és a kimenő jel formájának szabályozására kiegészítő modulációs módszereket kell alkalmazni. Ebben az összefüggésben egy négy negyed-es egyenáramú szaggató, kétirányú feszültség impulzus vezérléssel,  $f$  frekvencia vezérléssel és 0,5-ös relatív kapcsolási időt véve figyelembe egy frekvenciaváltónak felel meg, melynek négyszög formájú kimenete van. A kimeneti váltakozó feszültség frekvenciája  $f$ , effektív értéke az amplitúdójával lesz egyenlő. Ezt az esetet mutatja a 9. ábra, ahol a négy statikus félvezető elemet az egyszerűség kedvéért egyszerű mechanikus kapcsolókkal helyettesítünk [1].

Amennyivel több minőségi feltételt fogalmazzunk meg a frekvenciaváltó kimeneti feszültségével vagy áramával szemben, annál bonyolultabb lesz a teljesítményelektronikai áramkör és a hozzá tartozó vezérlési és szabályozási struktúra is. A továbbiakban csak a modulációs frekvenciaváltókkal érdemes foglalkozni, hiszen mára már ez a típus szinte egészében kiszorította az alkalmazásuktól a moduláció nélküli frekvenciaváltókat [1].



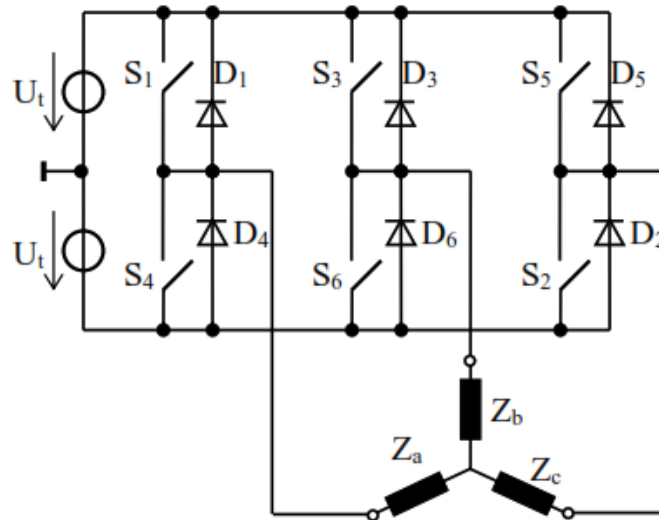
9. ábra: Egyfázisú inverter elméleti működése.

Az indukciós motorok hajtásához háromfázisú inverter szükséges. A háromfázisú invertert a 10. ábra szemlélteti. Az inverter bemenetére egyenfeszültségű tápforrás csatlakozik. Az inverter bemenetét közbenső egyenáramú körnek nevezzük. A közbenső egyenáramú körbe csatlakozik az akkumulátor csomag az elektromos busz esetében. Mindig három kapcsoló van bekapcsolva. A bekapcsoló jelek (Q1—Q6 az S1...S6 félvezetőhöz)  $60^\circ$ -ra követik egymást.

Feltételezve tisztán ellenállás terhelést az áram lépcsős szinusz alakú. Amennyiben a terhelés tisztán induktív, úgy az áram lineárisan nő vagy csökken, ami egy kisimultabb kimeneti áramot eredményez, ami miatt az áram felharmonikus tartalma jelentősen csökken.

Egyszerű vezérlésről akkor beszélünk, amikor semmilyen modulációt nem alkalmazunk a vezérlő feszültségen. Az egyszerű vezérléssel nem valósítható meg a kimeneten sem szinuszos

áram, sem szinuszos feszültség. Ha a motor tengelyén a lüktető nyomaték nem tolerált, akkor az egyszerű vezérlésű inverter alkalmazása nem célszerű.



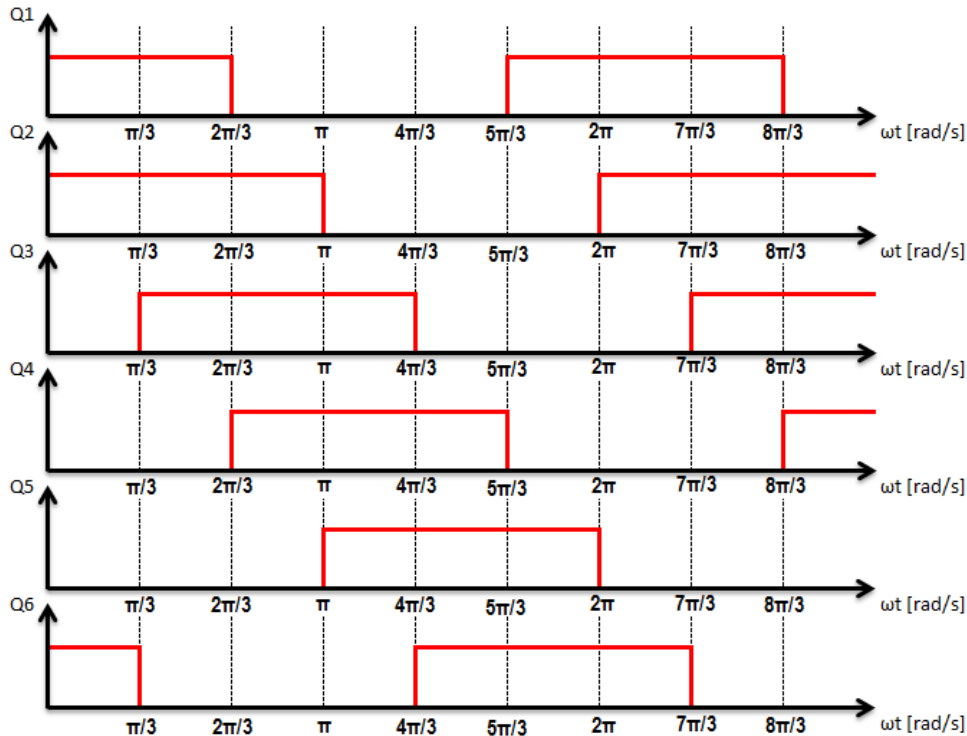
10. ábra: Háromfázisú inverter, háromfázisú fogyasztókkal.

A közbenső egyenáramú körre kapcsolódik a hat IGBT félvezető kapcsolóelem. Ezek ki-be kapcsolásával valósítható meg a váltakozó feszültség, amely háromfázisú hálózatot képez. A fázisok egymáshoz képest villamososan  $120^\circ$ -al vannak eltolva egymáshoz. Egy periódus alatt hatszor kapcsoljuk ki, illetve be valamely IGBT elem egyikét. Egy IGBT legfeljebb  $180^\circ$  vezetési hosszban vehet részt. A 11. ábra alapján kell az IGBT elemeket kapcsolgatni. Az ábrán a piros vonalakkal a digitális magas, illetve alacsony jelszint van jelölve, tehát az adott IGBT be, vagy kikapcsolva van. Az ábrából kiindulva észrevehetjük, hogy Q1-Q4, Q3-Q6 és Q5-Q2 párban vannak, és a párok tagjai felváltva ki-be kapcsolandó. Tehát egy hídág két kapcsolóeleme sohasem lehet egyszerre bekapcsolva, mert különben rövidzár keletkezik. A 11. ábra szerinti vezérlés esetén a 12. ábrán látható fázisfeszültségek jönnek létre a csillagkapcsolású fogyasztón.

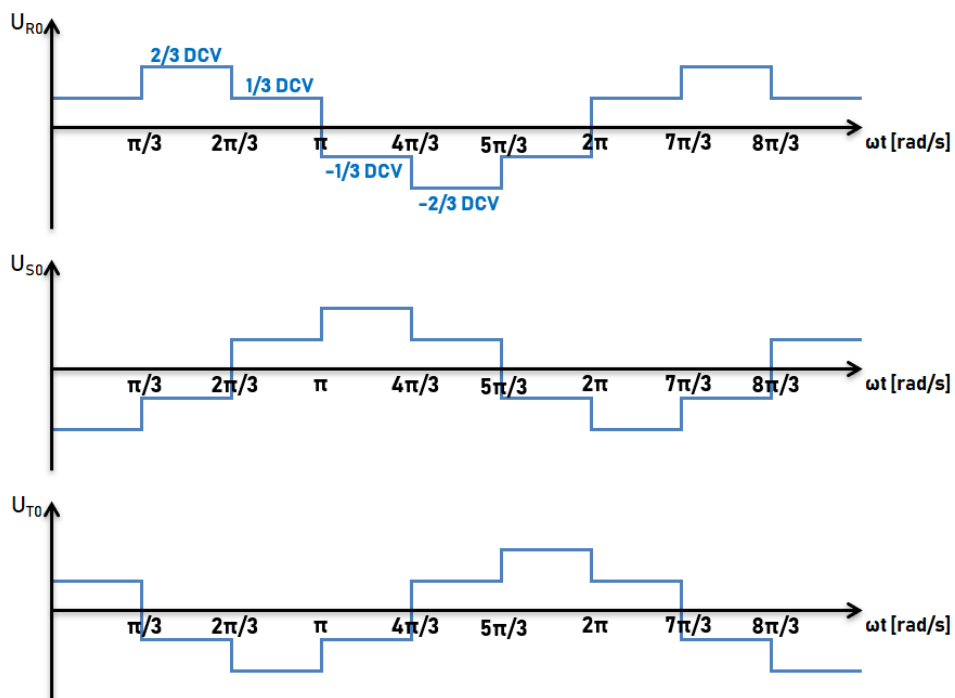
Hat megengedett kapcsolási állapot létezik. Ezeket a továbbiakban háromjegyű számokkal jelölöm. Az első hídág Q1-Q4, a második Q3-Q6, és a harmadik Q5-Q2 kapcsolóelemeket tartalmazza. Az 100 kapcsolási állapot azt jelenti, hogy az első hídág felső kapcsolója (Q1) be van kapcsolva, a többi hídág felső kapcsolói (Q3, Q5) pedig ki. Ezek alapján a hat kapcsolási állapot sorrendben: 100, 110, 010, 011, 001, 101. A két kapcsolási állapot, amely nem engedhető meg egyszerű vezérlés esetén üzemszerűen: 111, 000.

A következőkben látható, hogy négyszögjelek vezérlésével a kimeneten is váltakozó feszültségű négyszögjelek jönnek létre. Mivel a statikus kapcsolóelemeket csak négyszögjelekkel szabad vezélni, így szinuszos impulzusszélesség-modulációt (angolul SPWM: Sine Pulse Width Modulation) kell alkalmazni. Ekkor a kimeneti áram alapharmonikusa szinuszos lesz. A 13. ábrán látható egy hídághoz tartozó vezérlőfeszültség, amelyet mikrovezérlő valósított meg időzítők (timerek) segítségével. Ezt a két feszültséget kell a hídágban található félvezetőket vezérlő opto-drivereket bemenetére kapcsolni egy periódus alatt. Az SPWM vezérlés esetén a 000, 111 kapcsolási állapotok is megengedhetők üzemszerűen. Az SPWM vezérlés hátránya, hogy az áram és a feszültség nagy felharmonikus tartalommal bír, valamint a nyomaték főleg alacsony fordulaton igen lüktet. Ha mezőlengetést alkalmazunk, akkor sokkal kevésbé lüktet a nyomaték a motor tengelyén. Az SPWM vezérlés nem alkalmas a mezőlüktetés megvalósítására.

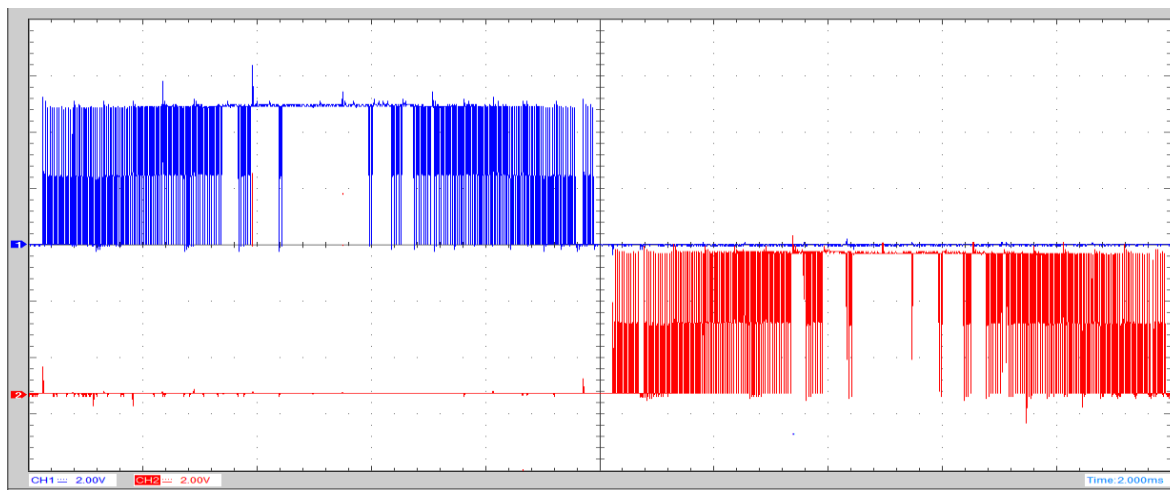
Az SPWM vezérlés implementálása mikrovezérlőn egyszerű, egy „lookup” táblából elég kiolvasni értékeket a szinusz generálásához, és ezt az értéket kell komparálni az időzítő pillanatnyi értékével. Az időzítő értéke időben fűrészfogként alakul. Ez a generálási módszer nem veszi igénybe nagymértékben a mikrovezérlő számítási kapacitását. A modern technikában már szinte kizárólag mikrovezérlőket alkalmaznak inverterek vezérlésére, szabályozására. Ezekbe beépített időzítőket (timereket) találunk, amelyek fel vannak készítve arra, hogy hídágakat vezéreljenek, amelyek aszinkron, vagy szinkron motor hajtáshoz vannak illesztve [1].



11. ábra: A statikus kapcsolóelemek vezérlési diagramja.



12. ábra: Fázisfeszültségek a csillagkapcsolású fogyasztón.



13. ábra: Egy hidághoz tartozó vezérlőjelek, 50 Hz alapharmonikus frekvencia esetén.

Az SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) térvektoros vezérlés lehetővé teszi a mezőlengetést, továbbá mind az áramban, mind a feszültségben kevesebb felharmonikus tartalom jelenik meg. Tekintsük meg az SPWM és SVPWM vezérlések összehasonlító 2. táblázatát, ahol az áram és feszültség felharmonikus tartalma (teljes harmonikus torzítás) van feltüntetve különböző modulációs mélységek esetén [4].

1. táblázat: SPWM és SVPWM vezérlés összehasonlító táblázata.

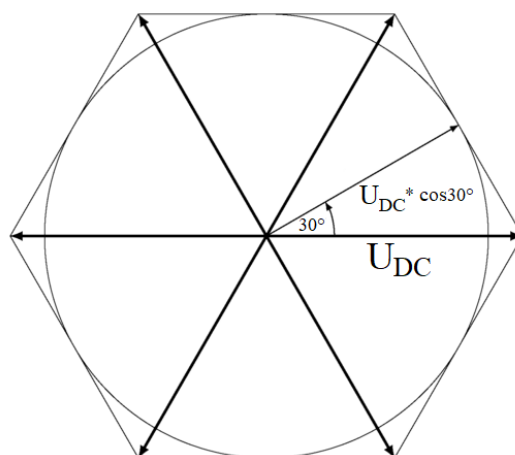
Modulációs mélység $\frac{U_{\text{moduláló}}}{U_{\text{vivő}}}$	SPWM		SVPWM	
	Vonali feszültség THD [%]	Vonali áram THD [%]	Vonali feszültség THD [%]	Vonali áram THD [%]
0,4	74,44	18,05	30,72	1,93
0,5	70,02	16,53	28,88	1,6
0,6	63,72	14,74	27,72	1,56
0,7	58,67	12,87	25,43	1,32
0,8	53,14	11,42	22,89	1,13
0,9	50,1	10,04	21,06	0,87

Az SVPWM vezérlést implementálni mikrovezérlőn sokkal bonyolultabb, mint az SPWM-et. Itt háromszög függvény ( $U_{\text{vivő}}$ ) szerint számol a számláló és a komparálási értékek szinuszosan változnak. Ennélfogva a komparálási értékeket ( $U_{\text{moduláló}}$ ) folyamatosan kell kiszámolni a mikrovezérlőnek, ami nagymértékben igénybe veszi a számítási kapacitást. A modulációs függvényének a frekvenciája határozza meg az alapharmonikus frekvenciáját, ami a motor szinkron frekvenciája. A modulációs függvény amplitúdója pedig a kimeneti feszültség amplitúdójára van hatással. Azok a frekvenciaváltók, amelyekben diódás egyenirányító van, üzemszerűen a modulációs mélységgel változtatják a vonali feszültség amplitúdóját, a beállított szinkron frekvencia függvényében.

Az SVPWM vezérlés legfőbb hátránya, hogy az inverter által létrehozott vonali feszültség amplitúdója nem képes elérni a közbenső egyenáramú kör feszültségét ( $U_{\text{DC}}$ ), csak a  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ -ed részét. Ennek magyarázatára a 14. ábra szolgál, ahol a feszültség Park-vektorokat lehet megte-

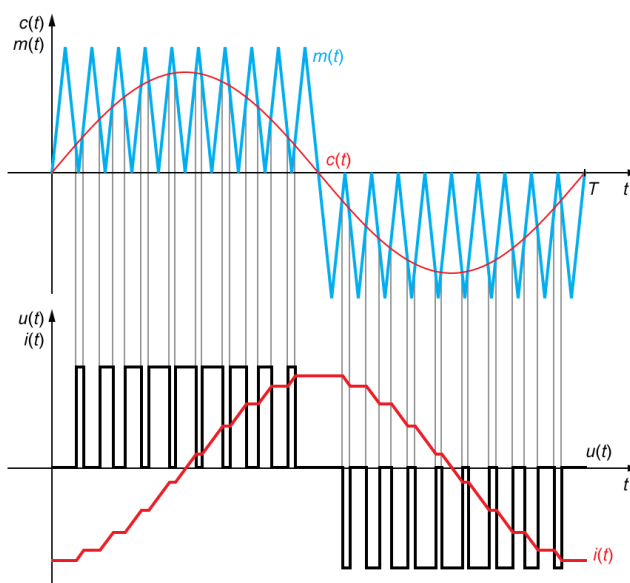


kinteni. SVPWM vezérlés esetén a Park-vektorok a körpályán haladnak végig. Egyszerű vezérlés esetén pedig csak hat Park-vektor jön létre, amely a hatszög csúcaiban helyezkedik el (vastagabban jelölt vektorok). Egyszerű vezérlés esetén a vonali feszültség nagysága megegyezik a DC sín feszültségével feltéve, ha veszteségmentesnek tekintjük az invertert. Az SVPWM vezérlés alkalmazásánál egy referencia vektort is szemléltet az ábra, amelynek az abszolútértéke is fel van tüntetve. Ez jelenti a legnagyobb elérhető vonali feszültség meghatározását. A kör sugara azért nem éri el a DC sín feszültségét, mert a vezérlésből adódóan egy periódusban sok a 000 állapot [3].



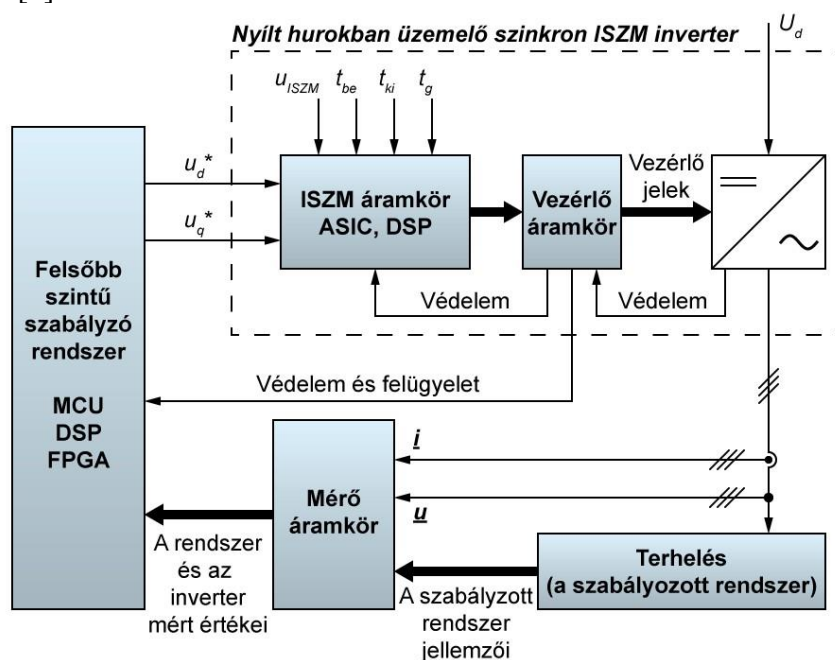
14. ábra: Park-vektorok összehasonlítása.

Az SPWM alkalmazásával a 15. ábra szerinti motor feszültség és áram jön létre. A modulációs impulzusok kis száma egy félperiódus alatt ebben az esetben is a kimeneti váltakozó áram minőségi romlását okozza. A teljesítmény tranzisztorok megjelenésével (bipoláris, MOSFET, IGBT) egy technológiaváltás következett be a frekvenciaváltók megvalósításában. A modulációs impulzusok frekvenciája megnövekedett 10 kHz fölé, eltűnt a szinkronizálás szükségessége a modulációs és komparációs jelek között. Következésképpen megjelentek a tényleges ISZM frekvenciaváltók, több feszültség szintű frekvenciaváltók, melyeket amplitúdó-modulációs frekvenciaváltóknak is neveznek (PAM-pulse amplitude modulation) és újabban megjelentek a feszültség vagy áram térvektor modulációs frekvenciaváltók is [1].



15. ábra: SPWM modulációval előállított feszültség és áram.

A 16. ábra pedig az SPWM és SVPWM vezérléssel működő inverter szabályozási blokkját ismerteti [1].



16. ábra: SPWM és SVPWM vezérléssel működő inverter szabályozási blokkjának sémája.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányban bemutatásra kerültek az elektromos járművekben leggyakrabban alkalmazott motor típusok, valamint inverterek. A kutatómunka eredményeire támaszkodva elmondható, hogy az átalakításra szánt buszban célszerű 180-200 kW teljesítményű aszinkron motort alkalmazni új meghajtó motorként. Az inverterek közül szintén számos lehetőséggel találkozunk. Az egyszerűbb szabályozó módszerhez képest az SPWM és az SVPWM vezérlési elvvel működő inverterek korszerűbb és hatékonyabb vezérlési módszerek, így ilyen típusú inverter beépítése javasolt.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FODOR D., MARSCHALCO R.: *Korszerű teljesítményelektronika*. 2014, p. 304.
- [2] BODNÁR, I.: *Napelem működésének alapjai, a napelemes villamosenergia-termelés elmélete és gyakorlati megvalósítása*. Miskolci Egyetem, 2019, p. 108.
- [3] ELTAMALY, A.M.; ALOLAH, A.I.; HAMOUDA, R.; ABDULGHANY, M.Y.: *A novel digital implementation of AC voltage controller for speed control of induction motor*. Int. J. Power Energy Convers. 2010, 2, 78–94.
- [4] SHWETA S., TIWARI, A.: *Simulation and Comparison of SPWM and SVPWM Control for Two Level Inverter*, 2017, p. 6.



## BMS RENDSZEREK

### BMS SYSTEMS

#### BÖLKÉNY Ildi

PhD, tudományos főmunkatárs, ildi.bolkeny@uni-miskolc.hu  
Miskolc Egyetem, Korszerű Anyagok és Intelligens Technológiák  
Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ

**Kivonat:** Jelen irodalomkutatás célja a gépjárművek fedélzeti számítógépes rendszereinek és az akkumulátor menedzsment rendszer (Battery Management System - BMS) áttekintése. Először a gépjárművek fedélzeti számítógépek és fedélzeti számítógépes rendszereinek témaköre kerül bemutatásra, fókuszálva a különböző elektronikus vezérlőegységekre, a különböző típusok áttekintésére. Majd a gépjárművel akkumulátor menedzsment rendszere témaköre kerül bemutatásra.

**Kulcsszavak:** gépjármű számítógépes rendszer, akkumulátor menedzsment, BMS

**Abstract:** The aim of this literature research is to review the on-board computer systems and the battery management system (BMS) of motor vehicles. First, the topic of vehicle on-board computers and on-board computer systems is presented, focusing on the various electronic control units and an overview of the various types. Then the topic of the vehicle's battery management system will be presented.

**Keywords:** on-board computer systems, battery management systems, BMS

## 1. JÁRMŰVEK FEDÉLZETI SZÁMÍTÓGÉPES RENDSZERE

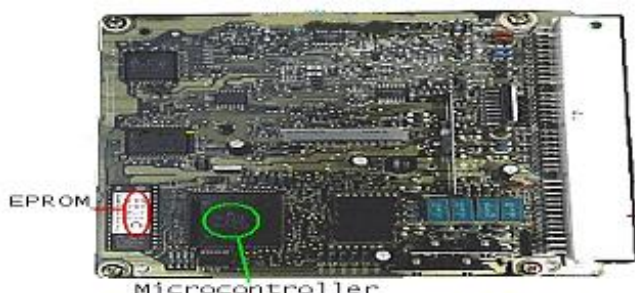
A fedélzeti számítógép egy a vezetőt informáló elektronikus rendszer. Az angol szakirodalomban hivatkoznak rá On-Board Computer (OBC). Board Computer (BC) és Trip Computer (TC) néven is. A legtöbb fedélzeti számítógép rögzíti, kiszámítja és megjeleníti a megtett távolságot, az átlagsebességet, az átlagos üzemanyag-fogyasztást és a valós idejű üzemanyag-fogyasztást.

Az első, mechanikus fedélzeti számítógépeket az 1950-es években gyártották benzines autókba tartozékként, hogy a sofőr betartsa az adott időbeosztást elsősorban raliban. Majd 1952-be a Fiat 1900-ba, 1958-ban a Saab GT750-be alapfelszereltségként szerelték be ezeket a kezdeti fedélzeti számítógépeket [1, 2]. 1978-ban a General Motors Cadillac részlege bemutatta a „Cadillac Trip Computert”, amely a Cadillac Seville gépjárműben volt elérhető, és egy új kezdetet jelentett [3]. A fedélzeti számítógépek nagy fejlődésen mentek keresztül. Elmondható, hogy az legalapvetőbb fedélzeti számítógépek átlagos üzemanyag-futásteljesítményt és esetleg külső hőmérséklet-kijelzőt tartalmaztak. A középkategóriás változatok gyakran tartalmaztak információkat az üzemanyagról, a sebességről, a távolságról, a fő irányról (iránytű) és az eltelt időről. A legfejlettebb fedélzeti számítógépek a csúcscategóriás autók számára készültek, és gyakran megjelenítik a két sofőr átlagos számításait, a stopperórát, a gumiabroncsnyomás-információkat, a sebességtúllépésre vonatkozó figyelmeztetéseket és sok más funkciót.

Az idő előre haladtával és az elektronika térhódításával a gépjárművekben is egyre több elektronikus egység található, amivel a fedélzeti számítógépek egyre előrelátóbb és összetettebb támogatás tudnak nyújtani. Napjainkban már fedélzeti számítógépes rendszerről beszélhetünk, amelyek több elektronikus vezérlőegységből állnak (az angol szakirodalomban Electronic Control Unit (ECU), vagy Electronic Control Module (ECM)).

Az autóiparban az elektronikus vezérlőegység (ECU), amelyet az 1. ábrán láthatunk, egy beágyazott elektronikus eszköz, alapvetően egy digitális számítógép, amely az autó különböző

részein és alkatrészeiben elhelyezett érzékelőktől érkező jeleket olvassa be, monitorozza azokat, valamint az információktól függően különféle egységeket vezérel. Az elektronikus vezérlőegység alapvetően hardverből és szoftverből áll. A hardver alapvetően különféle elektronikus alkatrészekből áll, amelyek közül a legfontosabb a mikrokontroller chip, valamint egy EPROM vagy egy Flash memória chip. A szoftver egy alacsonyabb szintű kódkészlet, amely a mikrokontrollerben fut. Az elektronikus vezérlőegységeket alapvetően sok analóg és digitális I/O vonalal rendelkeznek, és különböző kommunikációs protollokkal (CAN, LIN stb.) képesek kommunikálni [4].



**1. ábra:** Elektronikus vezérlőegység [4].

Az elektronikus vezérlőegység (ECU) legfontosabb elemeit az alábbi felsorolás tartalmazza:

- Tápegység – digitális és analóg (analóg érzékelők tápellátása),
- MPU – mikroprocesszor és memória (általában Flash és RAM),
- Kommunikációs kapcsolat – (pl. CAN busz),
- Diszkrét bemenetek – Be/Ki Kapcsoló típusú bemenetek,
- Frekvencia bemenetek – jeladó típusú jelek (pl. járműsebesség),
- Analóg bemenetek – visszacsatoló jelek az érzékelőktől,
- Kapcsoló kimenetek – Be/Ki Kapcsoló típusú kimenetek,
- PWM kimenetek – változó frekvencia és munkaciklus (pl. befecskendező vagy gyújtás),
- Frekvenciakimenetek – állandó munkaciklus (pl. léptetőmotor – alajjárati fordulatszám szabályozás).

Egy modern gépjármű meglehetősen sok elektronikus vezérlőegységgel rendelkezik, amelyet mi sem támaszt alá jobban, hogy az ebből származó bevételek 2017-ről 2018-ra 6,9%-al nőttek, és egyes becslések szerint egy luxusautóban akár 150 ECU is található [5]. A teljesség igénye nélkül az alábbi leírt elektronikus vezérlőegységeket különböztetjük meg.

Motorvezérlő egység (Engine Control Unit - ECU) vagy motorvezérlő modul (Engine Control Module - ECM): Egyfajta elektronikus vezérlőegység, amely a belső égésű motoron lévő működtetőelemek sorozatát vezérli az optimális motorteljesítmény biztosítása érdekében. Ezt úgy éri el, hogy értékeket olvas ki a motortérben lévő érzékelők sokaságából, értelmezi az adatokat többdimenziós teljesítménytérképek (úgynevezett keresési táblázatok) segítségével, és beállítja a motor működtetőit.

Sebességváltó-vezérlő modul (Transmission Control Module - TCM): Az automata és fél-automata sebességváltók vezérlésére használt egység.

Hajtáslánc-vezérlő modul (Powertrain Control Module - PCM): Általában egy kombinált vezérlő, amely a motorvezérlő egységből (ECU) és a sebességváltó-vezérlő egységből (TCU) áll.

Karosszéria vezérlő modul (Body Control Module - BCM): Egy olyan elektronikus vezérlőegység általános kifejezése, amely a jármű karosszériájában található különféle elektronikus

tartozékok felügyeletéért és vezérléséért felelős. Az autókban jellemzően a BCM vezérli az elektromos ablakemelőket, elektromos tükröket, a légkondicionálást, az indításgátló rendszert, a központi zárat stb.

Fékvezérlő modul (Brake Control Modul - BCM, Electrical Brake Control Module - EBCM): Ez a modul beolvassa a fékrendszer érzékelőit, és aktiválja a blokkolásgátlót vagy a kipörgésgátló rendszert, ha szükségesnek látja. Ha a fékezőmodul meghibásodik, letilthatja a blokkolásgátlót vagy a kipörgésgátlót, és néha problémákat okozhat a jármű fékezése során.

Blokkolásgátló fékrendszer (Anti-lock Braking System - ABS): Egy biztonsági csúszásgátló fékrendszer. Az ABS egy olyan automatizált rendszer, amely a küszöbfékezés és a pedálfékezés elvét alkalmazza, amelyek olyan technikák, amelyeket egykor az ügyes vezetők gyakoroltak az ABS elterjedése előtt. Az ABS úgy működik, hogy megakadályozza a kerekek blokkolását fékezés közben, ezáltal fenntartja a tapadást az útfelülettel, és lehetővé teszi a vezető számára, hogy jobban uralja a járművet. A modern változatok nemcsak megakadályozhatják a kerekek blokkolását fékezés közben, hanem megváltoztathatják az első-hátsó fékfelosztást is. Ez utóbbi funkció egyedi képességeitől és megvalósításától függően elektronikus fékerő-elosztó, kipörgésgátló rendszer, vészfék-asszisztens vagy elektronikus menetstabilizáló néven ismert [8].

Elektronikus menetstabilizáló (Electronic Stability Control - ESC, Electronic Stability Program - ESP vagy Dynamic Stability Control - DSC): Ez a technológia javítja a jármű stabilitását azáltal, hogy észleli és csökkenti a tapadási veszteséget (csúszást). Amikor az ESC a kormányzás elvesztését észleli, automatikusan fékez, hogy segítse a járművet arra a helyre irányítani, amerre a vezető menni kíván. A fékezés automatikusan a kerekekre külön-külön történik, például a külső első keréken a túlkormányzottság, vagy a belső hátsó keréken az alulkormányzottság ellen. Egyes ESC-rendszerek a motor teljesítményét is csökkentik, amíg vissza nem nyerik az irányítást. Az ESC nem javítja a jármű kanyarteljesítményét; ehelyett csökkenti annak esélyét, hogy a vezető elveszítse uralmát a jármű felett [6, 7].

Sebességszabályozó egység (Speed Control Unit - SCU): A sebességtartó automatika (más néven sebességszabályozó vagy tempomat) egy olyan rendszer, amely automatikusan szabályozza a gépjármű sebességét. A rendszer egy szervomechanika, amely átveszi az autó fojtószelepét, hogy fenntartsa a vezető által beállított egyenletes sebességet.

Ajtóvezérlő egység (DCU): Az autóelektronikában az ajtóvezérlő egység egy általános kifejezés egy olyan beágyazott rendszerre, amely egy fejlett gépjárművekhez kapcsolódó számos elektromos rendszert vezérel. Az ajtóvezérlő egység felelős a jármű ajtajában lévő különféle elektronikus tartozékok vezérléséért és felügyeletéért. Mivel a legtöbb járműnek több ajtaja van, a DCU-k mindegyik ajtóban külön-külön, vagy egyetlen központilag is elhelyezhetők. A vezetőoldali ajtóhoz társított DCU további funkciókkal is rendelkezik. Ezek a kiegészítő funkciók olyan összetett funkciók eredménye, mint a zár, a vezetőoldali ajtó kapcsolópadja, a gyerekzár-kapcsolók stb., amelyek a vezetőoldali ajtóhoz kapcsolódnak. A legtöbb esetben a vezetőajtó modul mesterként, mások pedig slave-ként működnek a kommunikációs protokollokban.

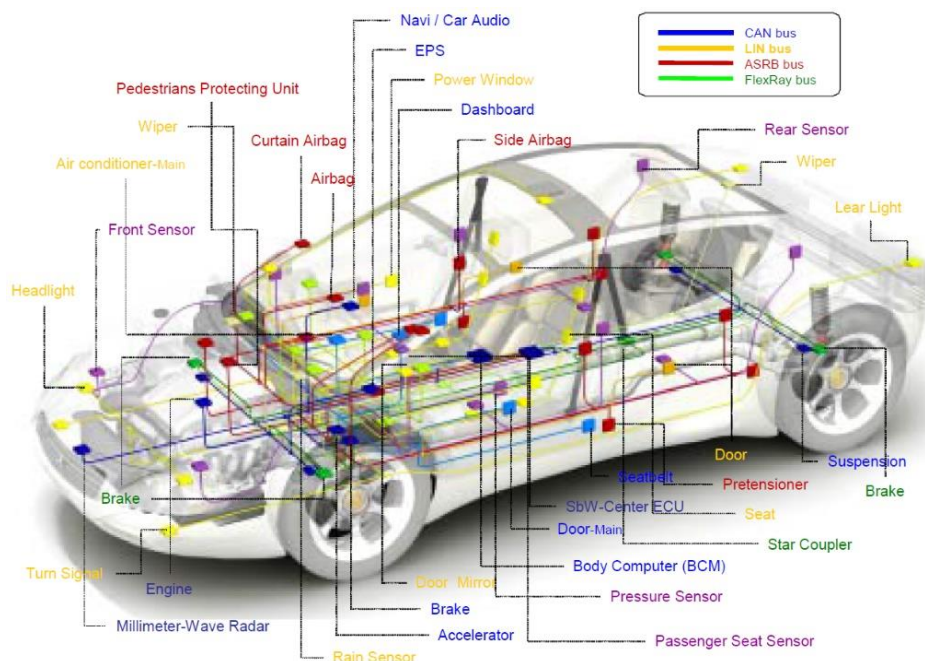
Ember-gép interfész (HMI): Az a felhasználói felület, ahol az ember és gép közötti interakció létrejöhet. Ennek az interakciónak az a célja, hogy lehetővé tegye a gép hatékony működtetését és irányítását az emberi oldalról, miközben a gép egyidejűleg visszacsatolja a kezelők döntési folyamatát segítő információkat. Gépjárművek esetén ez valamilyen kijelző felület, ahol rendszerint érintőképernyővel, 3D karral, több egyszerű nyomógommbal vagy hangvezérléssel tudunk információt bevinni.

Felfüggesztésvezérlő modul (Suspension Control Module - SCM): Ez a modul szabályozza a jármű menettulajdonságait azáltal, hogy mind a négy lengéscsillapítót szabályozza, egymástól függetlenül. Az ESC rendszerhez csatlakoztatott érzékelők számos különböző változót kezelnek, beleértve a kormányzási szöveget, a dőlésszöveget/lengést, a csillapító erőt és a kerék elmozdulását. Ezredmásodpercekbe telik, amíg a rendszer átadja a szükséges csillapítóerő-beállítókat az úthelyzettől függően – a beépített elektromos működtetők aktiválásával.

Ülésvezérlő egység (Seat Control Unit – SCU): Az ülés és funkciói az utastér kényelmének és biztonságának lényeges részét képezik, és mind a vezető mind pedig az utasok egyik közvetlen interfésze, fontos szerepet játszik a felhasználói élményben. Ez az egység felelős az ülésállításért vagy ülésmozgatásért (pl. pozíció, magasság, háttámla dőlésszög, valamint fejtámla helyzetének és dőlésszögének beállítása), az ülésnévvel (pl. dinamikus támasztékok, deréktámasz, masszázs, fűtés, hűtés és/vagy szellőztetés), és az ülésbiztonsági funkciókért (pl. a biztonsági övfeszítő, amelyek a jármű biztonsági rendszerének részét képezik).

Telematikai vezérlőegység (TCU): Ez a modul a gépjármű külső kommunikációjáért felel, vagyis vezeték nélkül összeköti a járművet felhőszolgáltatásokkal vagy más járművekkel V2X szabványokon keresztül, mobilhálózaton keresztül. A TCU telemetriai adatokat gyűjt a járműről, például pozíciót, sebességet, motoradatokat, kapcsolódási minőséget a jármű adat- és vezérlőbuszain keresztül különböző alrendszerrel való interfész révén. Továbbá Wi-Fi-n és Bluetooth-on keresztül is biztosíthat járművön belüli kapcsolatot.

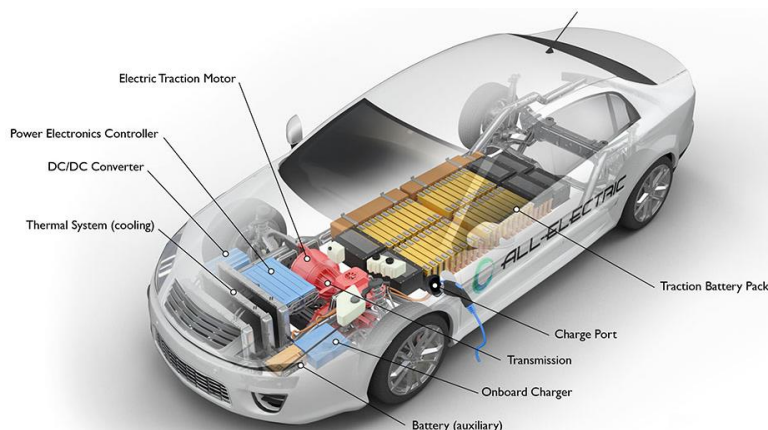
Akkumulátorkezelő rendszer (BMS): Ez a modul minden olyan gépjárműben megtalálható, amely újratölthető akkumulátort (cellát vagy akkumulátorcsomagot) kezel. Feladata az akkumulátorok menedzsmentje. A következő, 2. ábra jól szemlélteti a gépjárművekben elhelyezett vezérlőegységek elhelyezkedését.



2. ábra: Vezérlőegységek elhelyezése egy gépjárműben [9].

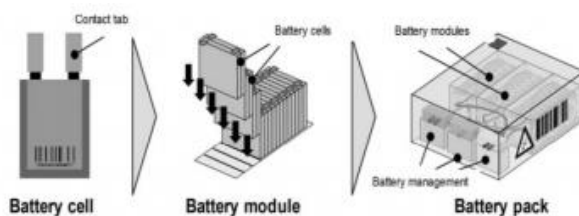
## 2. AKKUMULÁTOR MENEDZSMENT RENDSZER (BMS)

A BMS (Battery Management System) egy olyan elektronika, amely felügyeli és kezeli az akkumulátor teljes teljesítményét. A legfontosabb, hogy megakadályozza az akkumulátor működését a biztonsági határokon kívül. Az akkumulátorkezelő rendszer kritikus fontosságú az akkumulátor biztonságos működése, általános teljesítménye és hosszú élettartama szempontjából [11]. A 3. ábrán egy elektronos autó akkumulátor elhelyezését láthatjuk a kiszolgáló egységek feltüntetésével. Bár az elektromos autók akkumulátoráról egyetlen egységként beszélnek, valójában több száz (és néha több ezer) akkumulátorcellából áll, amelyek sorba vagy párhuzamosan kapcsolódnak az akkumulátormodulokba. Ezek a modulok egy akkumulátorcsomagba vannak csatlakoztatva, vagy amit mindenki egyszerűen "akkumulátornak" nevez.



3. ábra: Akkumulátor elhelyezés egy gépjárműben [12].

Ennek az elrendezésnek köszönhetően, amit a 4. ábrán láthatunk elérhető a szükséges kapacitás és energia, ugyanakkor egyszerűbb a gyártás, beszerelés, de az ellenőrzés és a karbantartás elvégzése is.



4. ábra: Akkumulátor cella, modul, csomag [10].

Minden gyártó egy kicsit máshogy készíti az akkumulátort, más kémiai vegyületeket használ, vagy különböző formájú akkumulátorcellákat készít. De ez általában valamilyen lítium akkumulátorok, ami jelenleg a leghatékonyabb technológiánk [11].

A BMS alapfunkciói a kisütés és töltés vezérlése. A töltés és a kisütés a legkockázatosabb pillanatok az akkumulátor élettartamában. Az AC töltés során a töltésszabályozásról részben a beépített töltő gondoskodik, amely a váltakozó áram egyenárammá alakításáért felelős, amely aztán a szükséges feszültséggel az akkumulátorba kerül. Egyenáramú töltés esetén az elektromos áram közvetlenül a BMS-hez jut, amely vezérli a töltést és kommunikál a DC állomással.

Az aktuális töltöttségi állapot meghatározása (State of Charge). Ez az egyik legfontosabb funkció, aminek köszönhetően a BMS meg tudja mondani a vezetőnek, hogy meddig vezethet még. Az aktuális töltöttségi állapot a rendelkezésre álló kapacitás és az akkumulátor teljes kapacitásának aránya, ezért 100% és 0% között tetszőleges értéket vehet fel, meghatározása bonyolult számításokat igényel.

Az akkumulátor állapot meghatározása. Az akkumulátor a vásárlásakor az 100%-os állapotú, ami a töltési ciklusokkal romlik. Számos tanulmány egyetért abban, hogy az akkumulátor állapotát befolyásolja a hőmérséklet, az akkumulátor töltési árama, a töltési ciklusok száma és más elsődleges tényezők. Az akkumulátorban azonban nem minden folyamat ismert teljesen, ezért nincsenek pontos módszerek az akkumulátor állapotának meghatározására. A töltési állapot meghatározásához hasonlóan közelítő számítógépes modellekre kell támaszkodni, amelyek figyelembe veszik a belső ellenállást, vezetőképességet, önkisülési sebességet, kapacitást, töltés során kapott energiát, használat közbeni hőmérsékletet, életkort, ciklusok számát stb.

Töltéskiegyenlítés. Az egyes cellák töltésének és kisütésének egyensúlya az utolsó rejtvény, amelyet minden BMS-nek meg kell oldania, de valójában ez az egyik legfontosabb funkció, amelytől a teljes akkumulátor-élettartam múlik. Az egyes cellák azonos szintű kisülése és töltése fontos, hogy egyes cellák ne legyenek túlterhelve és megsemmisülve. Nincs két teljesen



egyforma akkumulátorcella. Némelyiknek mindig valamivel nagyobb vagy kisebb a kapacitása. A valamivel kisebb kapacitású akkumulátorcellák gyorsabban kisülnek és gyorsabban tönkremennek, míg a többi cella kapacitása kihasználatlan marad. Ugyanígy a töltés során a leggyengébb cellák töltődnek először, a többiek pedig csak részben. Az egyes cellák töltésének és kisütésének kiegyensúlyozása így jelentősen növeli az összkapacitást, mert azt nem csak a leggyengébb cellák határozzák meg, hanem meg is védi ezeket a gyengébb cellákat, így nem sérülnek, rövidre zárnak vagy szivárognak, ami az egész akkumulátort károsíthatja. A BMS-fejlesztéssel foglalkozó részben az aktív és passzív kiegyensúlyozásra, valamint a különböző topológiákra koncentrálnak.

Rögzítés és kommunikáció. A korábban említett funkciókhoz képest a rögzítés és a kommunikáció viszonylag egyszerű funkció. Mivel az akkumulátor állapota relatív mennyiség, a BMS-nek adatokat kell tárolnia arról, hogy az akkumulátor kezdetben milyen jellemzői voltak, hogy összehasonlíthassa más értékekkel. Ennek köszönhetően lehetővé teszi az akkumulátor működésének kiértékelését, valamint diagnosztikáját. Ugyanilyen fontos a kommunikáció a BMS és az autó más részei, például a fedélzeti töltő vagy a töltőállomás között. A BMS arról is gondoskodik, hogy a vezető kijelzőjén megjelenjen, mennyit tett meg, vagy mikor kell feltölteni az autót. Lehetőség van a fent említett előzmények elérésére is, amelyeket a BMS tárol és feldolgoz [11, 12].

### 3. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

### 4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Never Seen One: Well-Preserved RHD 1950 Fiat 1400 - <https://bringatrailer.com/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [2] FIAT 1900: l'illusione americana – <http://autoemotostoriche.it/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [3] Chrysler EVIC - Trip Computers – <http://allpar.com/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [4] ECU Designing and Testing using National Instruments Products - <http://www.ni.com/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [5] Christoph Hammerschmidt: Number of automotive ECUs continues to rise - <https://www.eenewsautomotive-com/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [6] A. T. van Zanten: *Bosch ESP Systems: 5 years of Experience*, SAE 2000-01-1633
- [7] E. K. Liebemann, K. Meder, J. Schuh and G. Nenninger: *Safety and Performance Enhancement: the Bosch Electronic Stability Control (ESP)*, SAE 2004-21-0060
- [8] Royal Automotive Club of Victoria (RACV) Ltd: *Effectiveness of ABS and Vehicle Stability Control Systems*, Research report, 2004
- [9] CAN-Bus - <http://www.flexautomotive.net/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [10] Felix Vu, Melanie Rahic: *Exploring EV Battery Secondary Life Business models and Reverse Logistic perspectives*, 2019
- [11] *Battery Management System for Future Electric Vehicles*, 2020, ISBN: 3039433504
- [12] How Do All-Electric Cars Work? - <https://afdc.energy.gov/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)

## BMS ÉS FEDÉLZETI SZÁMÍTÓGÉP KOMMUNIKÁCIÓ

### COMMUNICATION OF BMS AND ON-BOARD COMPUTER

**BÖLKÉNY Ildi**

PhD, tudományos főmunkatárs, ildi.bolkeny@uni-miskolc.hu  
Miskolc Egyetem, Korszerű Anyagok és Intelligens Technológiák  
Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ

**Kivonat:** Jelen cikk célja az akkumulátor menedzsment rendszer (BMS) és a fedélzeti számítógép közötti kommunikációs protokollok áttekintése, amely az alábbiakban leírtak szerint valósul meg. Irodalomkutatása gépjárműveknél használt kommunikációs protokollok témakörében, különös tekintettel az elterjedt CAN és LIN busz kapcsán. Irodalomkutatás a Volvo buszok elektronikai vezérlésével kapcsolatosan. Végül azon kérdés megválaszolása, hogy mely kommunikációs protokollt érdemes használni BMS esetében, továbbá, hogy a BMS - fedélzeti számítógép kommunikáció kialakítása utólagosan miként valósítható meg.

**Kulcsszavak:** BMS, kommunikáció, Volvo

**Abstract:** The aim of this article is to review the communication protocols between the battery management system (BMS) and the on-board computer, which is implemented as described below. Literature research in the field of communication protocols used in motor vehicles, especially in connection with the widespread CAN and LIN bus. Literature research related to the electronic control of Volvo buses. Finally, answering the question of which communication protocol should be used in the case of BMS, and how the BMS - on-board computer communication can be implemented afterwards.

**Keywords:** BMS, communication, Volvo

## 1. GÉPJÁRMŰVEKNÉL HASZNÁLT KOMMUNIKÁCIÓS PROTOKOLLOK

A gépjárműveknél jellemzően busztopológiájú kommunikációt alkalmaznak. Ez egy olyan jól definiált kommunikációs felület, amely lehetővé teszi adatok és/vagy tápfeszültségek továbbítását. A jogalkotó által meghatározott diagnosztikai csatlakozón (CAN, K-Line) kívül a járműhöz való hozzáférést napjainkban más szabványos buszrendszerek is meg tudjuk valósítani. Ezek a szabványok mindig a speciális buszrendszerek, amelyek valamilyen szempont alapján kiemelhetők. A legelterjedtebb típusokat az 1. ábra mutatja.

CAN Busz – ISO 11898. A CAN buszt azért vezették be, hogy lehetővé tegye nagyszámú ECU hálózatba kapcsolását. Mivel lényegesen nagyobb adatátviteli sebességet tesz lehetővé, mint elődei (K-Line, J1708), hamarosan elkezdtek használni diagnosztikára és flash programozásra. Ma is a CAN busz az uralkodó autóiipari busz, és OBD célokra is megengedett.

A CAN-buszt eredetileg a Robert Bosch GmbH fejlesztette ki Zuffenhausenben, 1983-ban. Az első CAN vezérlő chipet 1987-ben dobta piacra az Intel-Philips-duó. A Bosch által továbbfejlesztett változat 1991-ben debütált CAN 2.0 néven. A CAN teljesíti az amerikai OBD-II jármű diagnosztikai standard előírásait, mely 1996-tól érvényes az USA-ban, és az EOBD standardot, mely az európai benzinüzemű járművekre 2001-től, dízelekre pedig 2004-től alkalmazható. A Bosch napjainkban is dolgozik a CAN továbbfejlesztésén, 2012-ben kiadta a CAN FD 1.0 specifikációt, ami a rugalmas adatsebességet vezette be a szabványba. Az FD 1.0 bár eltérő keretformátumot használ, (elvileg) kompatibilis a CAN 2,0 hálózatokkal.

A CAN célja elsősorban az volt, hogy az akkoriban robbanásszerűen fejlődő autóiipar rendszer-decentralizációs törekvéseihez megbízható eszközként szolgáljon, ezért az alábbi célkitűzéseknek kellett megfelelnie:

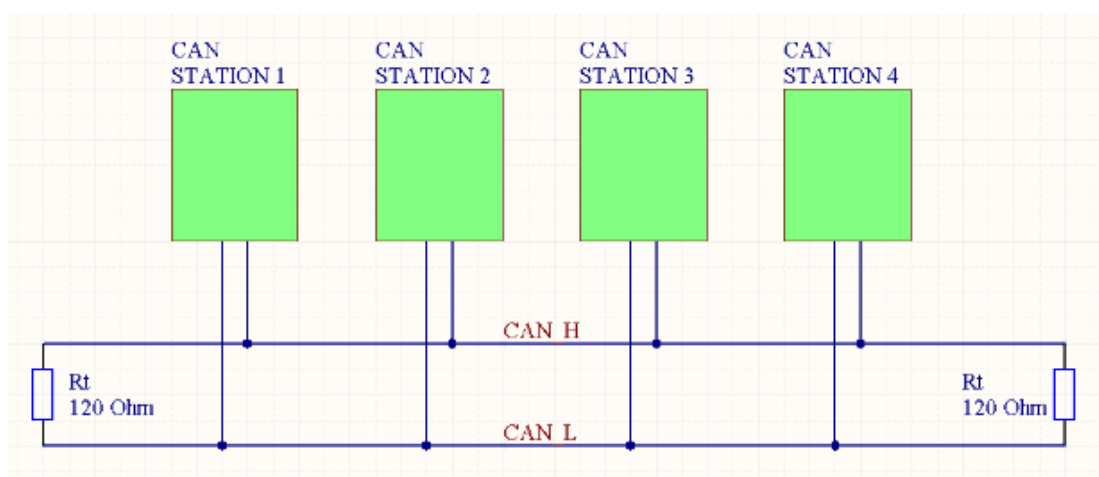
- robusztus kialakítás, nagy üzembiztonság, akár szélsőséges körülmények között is,
- igen rövid ciklusidő, viszonylag magas átviteli sebesség mellett,

- minimális adatmennyiség továbbítása,
- broadcasting támogatás,
- gyors és egyszerű átkonfigurálás lehetősége,
- alacsony ár.



**1. ábra:** Busz kommunikáció [7].

A CAN busz működése. A fizikai rétegfeladata a bitek hibamentes továbbítása. Ezen a szinten van megfogalmazva a vezetékezés és a bitek továbbítási formája. A CAN hálózat szimmetrikus jelátvitelt alkalmaz. A szimmetrikus jelátvitelhez két vonalra van szükség, ami egy sodrott érpáron történik. Ez lehet árnyékolt, vagy árnyékolatlan érpár. A két vezeték CAN\_H-nak és CAN\_L-nek nevezik. Erre az érpárra csatlakoztathatóak az eszközök, a következő, 2. ábrának megfelelően. Előnye a buszrendszernek, hogy könnyedén csatlakoztathatóak rá további eszközök, és el is távolíthatunk róla állomásokat [7].



**2. ábra:** CAN busz hálózat [8].

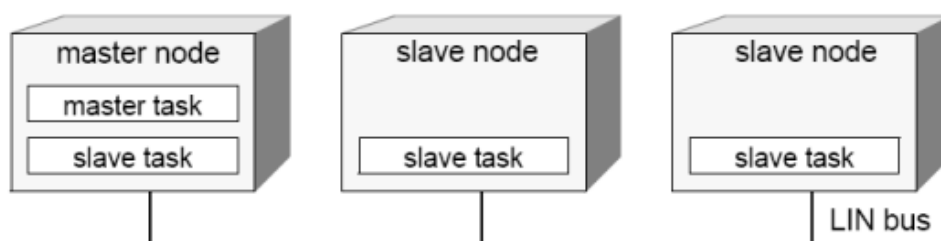
LIN Busz. Egyedi buszra volt szükség az érzékelők és aktuátorok olcsó integrálásához a járműhálózatokba – a CAN megoldások itt túl drágák. Ez a LIN busz (Local Interconnected Network) elindításához vezetett, amelyen keresztül kis alhálózatok kapcsolódnak – jellemzően CAN hálózatokhoz. A LIN-t ma mindenhol használják, például ajtómodulokban, ülésekben és



légkondicionáló csatlakoztatására. A LIN első verzióját a Motorola dolgozta ki 1999-ben. Ennek sikeréből kiindulva létrehozták a LIN Konzorciumot 2000-ben olyan autóiipari cégek közreműködésével, mint az Audi, BMW, Daimler Chrysler, Volkswagen, Volvo. Az első széles körben elterjedt verziót a LIN 1.2-t 2000 novemberében publikálták.

A LIN alapkonceptiója, hogy a buszon egy master és több slave egység helyezkedik el, és mivel csak a master kezdeményezhet adatátvitelt, nem lépnek fel arbitrációs problémák. A LIN specifikáció által leírt soros kommunikáción alapuló protokoll az OSI modell két alsó rétegét tölti ki, tehát a fizikai és az adatkapcsolati réteget. A LIN aszinkron soros kommunikációra épül. Ennek fizikai implementációja egy egyvezetékes kommunikáció, amely half-duplex átvitelt tesz lehetővé. A LIN broadcast alapú, tehát a buszra egy egység által kiküldött információt az összes többi egység képes fogadni és feldolgozni. A LIN üzenetekbe speciális szinkronizáló mezőt illesztettek, amik lehetővé teszik a node-ok külső kvarcának elhagyását, ezzel is költségcsökkentést érve el az egyes nodeoknál. Szintén a LIN egyszerűségére jellemző, hogy a kommunikáció megvalósítható a legtöbb mikrovezérlőben megtalálható normál UART perifériával. Egy LIN hálózat egy masterből és több slave node-ból áll. A működés szempontjából tekintve pedig a rendszerben egy master és több slave taszk létezik. A master node hajtja végre a master taszkat, illetve hajthat végre slave taszkokat is, amennyiben tartalmaz valamilyen perifériát. A LIN slave-ek pedig csak egy slave taszkat hajtanak végre. A master taszk szabja meg, hogy a buszon milyen üzenet, mikor kerül elküldésre [9].

Minden üzenetet a master indít el. A slave-ek csak akkor küldik el az adatukat, amikor erre a master felkéri őket. A masterben létezik egy ütemező tábla, hogy mikor, melyik slave-eket kell lekérdeznie. Normál ipari rendszerek esetében ennek a táblázatnak az összeállítására külön szoftvercsomagokat használnak fel, aminek az eredménye egy ún. LIN descriptor file, amiből a master node ütemező forráskódja automatikusan generálható. A 3. ábrán láthatjuk a hálózat felépítését.



3. ábra: LIN busz hálózat [9].

FlexRay: A FlexRay-t a század elején találták ki, hogy megfelelő buszrendszert tudjon megvalósítani a biztonság szempontjából kritikus alkalmazásokhoz, zárt hurkú rendszer. Lehetővé teszi a determinisztikus időreakciókat, redundáns kialakítású, és olyan elődrendszereken (pl. Time Triggered CAN) alapul, amelyek már megvalósítottak alfunkciókat. A FlexRay-t elsősorban elosztott funkciókhoz használják a prémium járműszektorban.

CAN FD Busz - ISO 11898-1. A járművekben az adatmennyiség mennyisége és a diagnosztikai kommunikáció gyorsaságának igénye nagymértékben növekszik. A CAN megbízható és szabványos buszrendszer. A klasszikus CAN busz hatékonysága azonban nem felel meg a mai követelményeknek az adatátviteli sebesség tekintetében. A rugalmas adatátviteli sebességgel (CAN FD) rendelkező CAN felülmúlja a klasszikus CAN busz adatátviteli sebességgel kapcsolatos korlátait. A gyakorlatban a CAN FD adatátviteli sebessége hatszor nagyobb, mint a klasszikus CAN, a hálózati topológiától függően. A hatékonyság növelése az adattömb 8 bájtról 64 bájtra történő kiterjesztésével és akár 8 Mbit/s-os megnövelt bitsebességgel érhető el a hasznos

adatátvitel során. Ezekkel a specifikációkkal a CAN FD nagyobb mennyiségű diagnosztikai adatot tud feldolgozni, és időt és költséget takarít meg.

K-Line - ISO9141. Az 1990-es években a K-Line volt az egyik első módja a járművek ECU-ihoz való hozzáférésének. Ezért írták elő az első OBD-szabványok, és azóta is használatban van. Ma az új projekteknél a CAN váltja fel.

SAEJ1850. Az fedélzeti diagnosztika (OBD) bevezetése – az Egyesült Államokban jóval Európa előtt – a járműhálózatokhoz való szabványosított hozzáféréshez vezetett. Az USA-ban erre a célra a SAE által szabványosított J1850 buszt használták. Miután a buszt sok éven át használták a Ford és a GM tervezésekor, mára széles körben felváltotta a CAN busz.

Ethernet. Az Ethernettel egy olyan szabványt, amelyet már évek óta sikeresen alkalmaznak a hálózatépítésben, amely az autóelektronikába is kezd elterjedni. Az olcsó alkatrészeknél nagy előnyt jelent a rendkívül nagy sávszélesség - a fedélzeti kommunikációban, valamint a diagnosztikában és a flash programozásban.

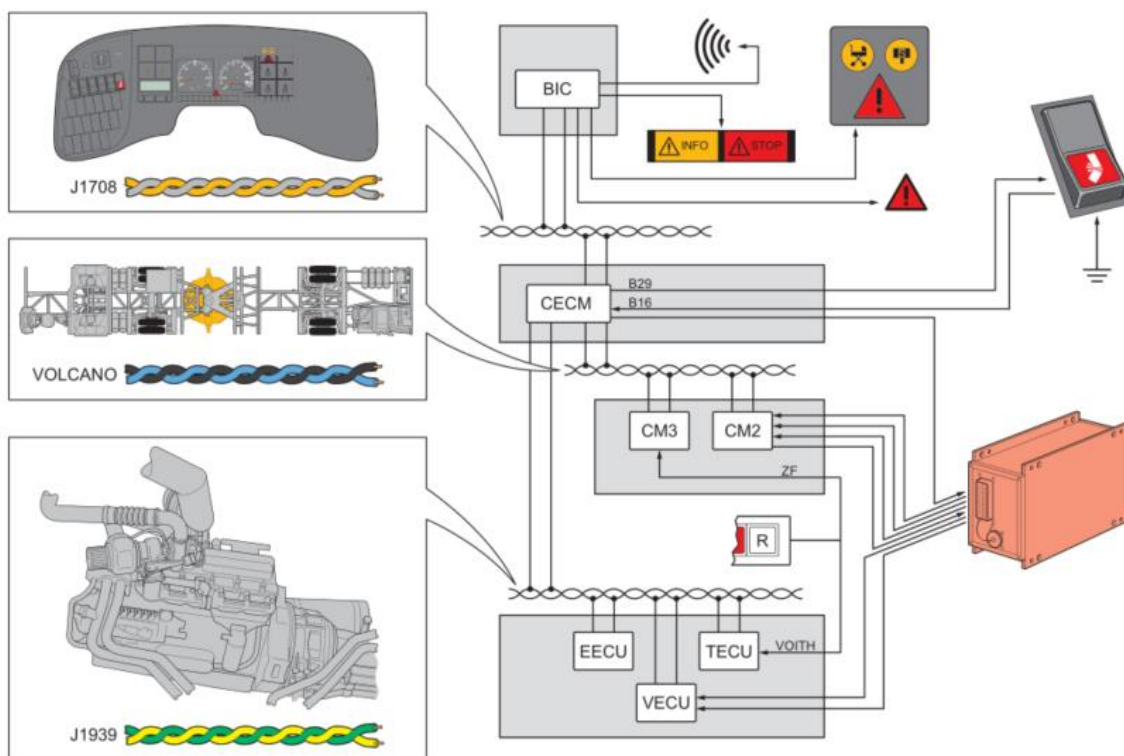
A busz fizika eltérő lesz a két alkalmazási esetben; diagnosztikában / flash programozásban megfelel az ismert szabványnak.

MOST. A MOST-ot (Media Oriented System Transport) a század elején vezették be, hogy leegyszerűsítse az ECU-k járműbe való integrálását, a speciális kommunikációs mechanizmusainak és a nagy adatátviteli sebességének köszönhetően.

Az egyes kommunikációs protokollok áttekintését követően elmondható, hogy a legelterjedtebbek a CAN és LIN busz protokoll [1-9].

## 2. VOLVO BUSZOK ELEKTRONIKAI VEZÉRLÉSE

Az általam vizsgált Volvo B7L/B10L Bus Electrical Architecture (BEA) nevű elektromos vezérlőrendszerrel van felszerelve. A rendszer több összekapcsolt vezérlőegység hálózatként épül fel. A 4. ábra szemlélteti a busz kommunikációját.



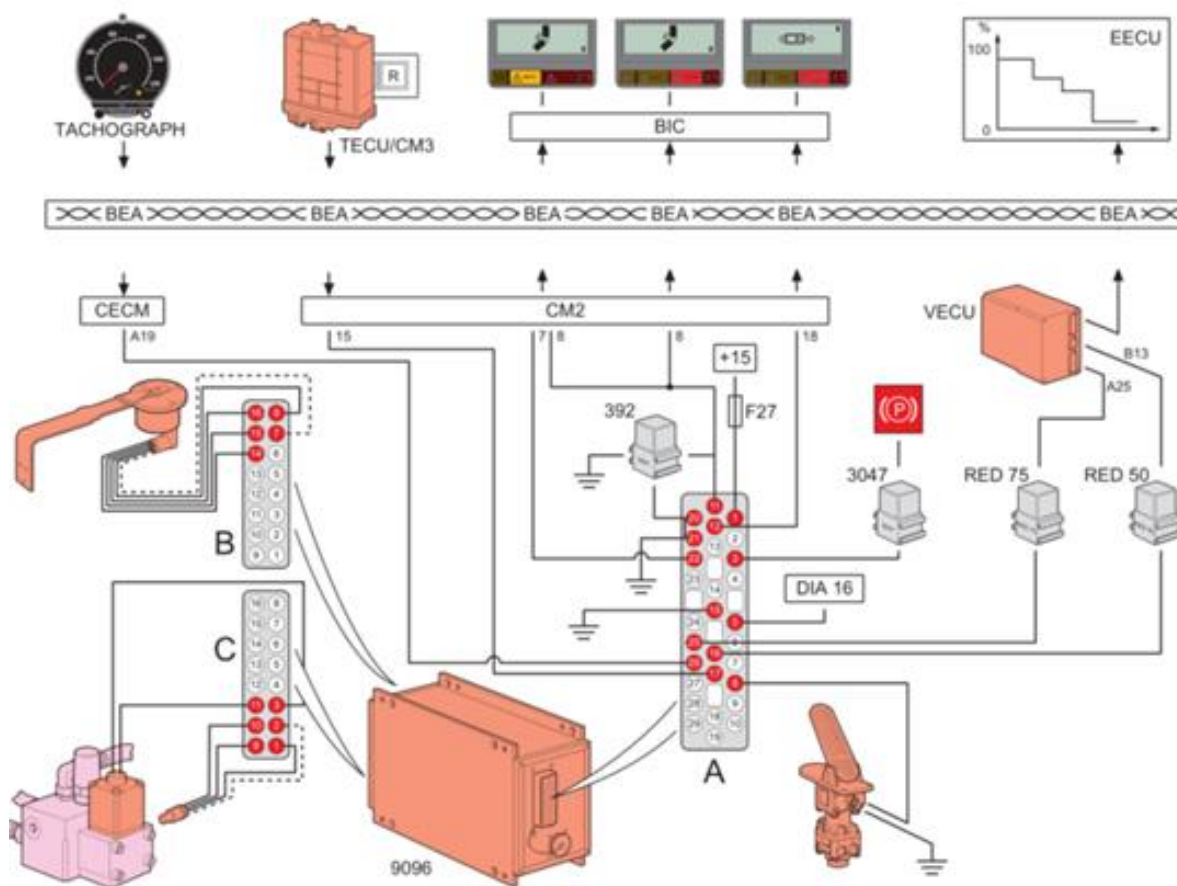
4. ábra: VOLVO B7L/B10L kommunikáció [10].

A J1708 kommunikációs vonal információt továbbít a BIC és a CECM között. A kapcsolat két csavart kábelből áll, egy szürke és egy narancssárga, 9600 bps adatátviteli sebességgel, és szabványos J1587 nyelvet használ. A BIC (Bus Instrument Cluster), vagyis a buszműszercsoport olyan jeleket továbbít, mint a kijelzések, a figyelmeztető lámpák és a hangjelzések. A CECM (Chassis Electronic Control Module) a sebességelet továbbítja a vezérlőegységéhez.

A VOLCANO kommunikációs vonal kék és fekete színű, 250 000 bps sebességgel.

A J1939 az a kapcsolat, amely fontos információkat továbbít a hajtáslánc vezérlőegységei, a sárga és zöld kábel között. „Fast Link”-nek is nevezik, és 250 000 bps sebességgel működik. A jelek továbbítása a legmagasabb prioritással történik a CECM (alváz), EECU (motor), VECU (jármű) és TECU (átviteli) vezérlőegységek között.

Az következő, 5. ábrán a B7L/B10L csuklós busz csatlakoztatott érintkezői láthatók.



5. ábra: VOLVO B7L/B10L ECU-k [10].

### 3. KONKLÚZIÓ

A BMS kommunikációs protokoll tekintetében kimondható, hogy a leghatékonyabb autóiipari szabványos protokollok a CAN és a LIN. Célszerű a kommunikációs protokoll kiválasztását ezekre korlátozni, amennyiben azt nem szabja meg a használt akkumulátor. Nyilván abban az esetben, ha komplett rendszer kerül beépítése, akkor a kommunikációs protokoll utólagos lecserélése nem javasolt. Megjegyzés: A LIN kialakítás a szakirodalom szerint költséghatékonyabb megoldás.

A BMS – fedélzeti számítógép kommunikáció tekintetében elmondható, hogy a gépjárművek (így a Volvo) kommunikációja zárt, nem publikus. A kommunikációs üzenetek visszafejtése nagyon hosszadalmas és bonyolult folyamat. Így a fedélzeti számítógéphez egy BMS utólagos illesztése nem javallott, mivel az nem költséghatékony. Célszerű azt külön kezelni, az esetleges információkat a vezető felé egy külön utólagosan felszerelt kijelzőn kell megjeleníteni.

#### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

#### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Kovács Miklós, Dr. Szalay Zsolt: *Gépjárművek buszhálózatai (CAN, VAN, LIN, Byteflight, Flexray, MOST, Bluetooth.)*, ISBN 9789639945104
- [2] Marco Di Natale, Haibo Zeng, Paolo Giusto, Arkadeb Ghosal: *Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol, Theory and Practice*, 2012, ISBN 978-1-4614-0313-5
- [3] Wilfried Voss: *A Comprehensible Guide to Controller Area Network* 2nd Edition, Copperhill Media Publisher, ISBN 978-0976513601
- [4] Robert Bosch GmbH: *Automotive Handbook*, ISBN 9781119911906, Wiley kiadó, 2022
- [5] Dominique Paret: *Multiplexed Networks for Embedded Systems: CAN, LIN, FlexRay, Safe-by-Wire*, Wiley kiadó, 2007, ISBN 978-470-03416-3
- [6] Andreas Grzembra, Hans-Christian von der Wense: *LIN-Bus: Systeme, Protokolle, Tests von LIN-Systemen, Tools, Hardware, Applikationen*, Franzis kiadó, 2005, ISBN 9783772340093
- [7] Bus Systems: *CAN, CAN FD, FlexRay, Ethernet, K-Line, LIN and MOST in use* - <https://automotive.softing.com/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [8] Somolyai László: *Can busz általános ismertető*, 2009
- [9] Autóipari kommunikációs hálózatok vizsgálata – <https://www.mit.bme.hu/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [10] Turntable system Volvo B7L/B10L Articulated

# ELEKTROMOS ÜZEMŰ BUSZ KOMPRESSZORÁNAK KÉRDÉSEI

## COMPRESSOR QUESTIONS OF ELECTRICAL BUS

**FEKETE Tamás**

tanársegéd, [tamas.fekete@uni-miskolc.hu](mailto:tamas.fekete@uni-miskolc.hu)

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet,  
Szerszámgépek Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A Miskolci Egyetemen egy projekt kapcsán azt a feladatot kaptam, hogy egy Volvo 7700 B9L típusú, CNG üzemű, szóló autóbusz teljesen elektromos meghajtással rendelkező átalakításához szükséges elektropneumatikus és elektrohidraulikus rendszerét alakítsam ki. Ehhez meg kellett vizsgálnom, hogy milyen hidraulikus és pneumatikus rendszerekkel van felszerelve. A jelen cikkben az autóbuszban használatos pneumatikus rendszer kompresszorának kiválasztásához tartozó szempontokat határoztam meg.

**Kulcsszavak:** elektromos busz, pneumatikus rendszer

**Abstract:** In connection with a project at the University of Miskolc, I was given the task of developing the electro-pneumatic and electro-hydraulic system necessary for the conversion of a Volvo 7700 B9L CNG-powered solo bus with a fully electric drive. I had to examine what hydraulic and pneumatic systems it is equipped with. In this article, I defined the aspects for selecting the compressor of the pneumatic system used in the bus.

**Keywords:** electric bus, pneumatic system

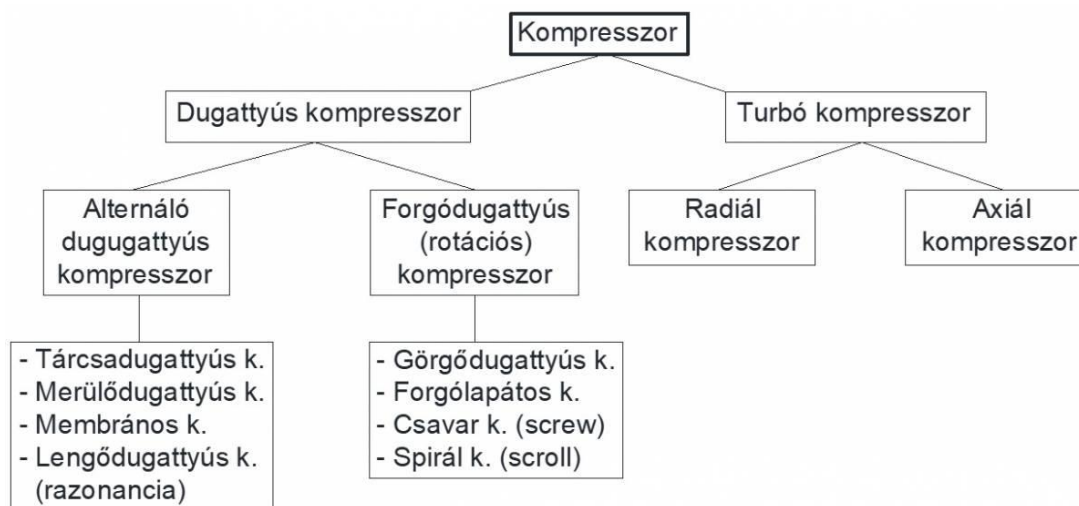
## 1. BEVEZETÉS

Kutatómunkám során egy Volvo 7700 B9L típusú, CNG üzemű szóló busz hidraulikus és pneumatikus rendszereit vizsgáltam. Ezeket három nagyobb csoportba lehet sorolni [1, 2]:

- az ajtók nyitását és zárását működtető pneumatikus rendszer;
- a gépjármű futóművénél lévő légrugók (6 db) pneumatikus rendszere;
- az autóbusz kormányzását segítő hidraulikus servo rendszer.

Az autóbusz ajtajainak nyitása és a futóműben található légrugók működtetéséhez szükséges a pneumatikus rendszer, amelyeket elektropneumatikus rendszerré szükséges átalakítani. A mechanikus működésű kormányzást rásegítő rendszert elektrohidraulikus rendszerre szükséges cserélni. A szivattyút egy villanymotor segítségével hajtánánk meg, s ez az olaj hidraulikus tömlőkön keresztül [3] érkezne a kormányműbe, amelyben a nagynyomású olaj egy dugattyús rendszer segítségével oldaná meg a fogasléc elmozdulását. A Volvonál ez beszerezhető gyári alkatrészként, amelyet a 7700 B9L Hybrid típusúnál alkalmaznak.

A pneumatikus rendszerek működtetéséhez nagynyomású levegő előállítására van szükség. A nagynyomású levegő előállítását egy kompresszor segítségével lehet elvégezni. A kompresszorok egyik lehetséges csoportosítását az 1. ábra mutatja. A megfelelő kompresszor kiválasztásához az üzemeltetés során keletkező hatásokat kell figyelembe venni.



1. ábra: A kompresszorok egy lehetséges csoportosítása [4].

## 2. AZ ELEKTROMOS BUSZ KOMPRESSZORÁNAK KIVÁLASZTÁSA

A megfelelő kompresszor kiválasztásánál az alábbi paraméterekre kell odafigyelni:

- a megfelelő nyomást tudja előállítani [bar];
- a megfelelő mennyiségű levegőt tudja szállítani [liter/perc];
- a kompresszor felvett teljesítményét elbírja az elektromos hajtású busz biztosítóka, villanymotorja;
- tartállyal szerelt vagy anélküli légkompresszor szükséges;
- kompresszor karbantartása.

A légkompresszor gyártója megadja a levegős kompresszor által előállított nyomást, például: maximális üzemi nyomás: 1 MPa (10 bar). A munkahenger (pl. ajtónyitó) nyomásszükséglete kisebb kell legyen, mint a légkompresszor nyomása, hogy az üzembiztosan működjön.

Ha messzebbre kell eljuttatnunk a sűrített levegőt, a légkompresszor által produkált nyomás is csökken. Műszaki gyakorlatban megfelelő, ha 0,1 bar nyomáscsökkenéssel számolunk méterenként. Ha ez falra rögzített pl.: rézcső könyökökkel, az okoz némi plusz nyomásvesztést, mert az további ellenállásként jelenik meg.

Amennyiben a légkompresszor kimenő (azaz töltési) teljesítményét nem adja meg a gyártó, azt ki kell kiszámolnunk a következőképpen: a kifújott levegő a beszívott levegőnek (vagy az átfolyás) körülbelül 60%-a, tehát ha a kompresszorunk 100 liter levegőt szív be egy perc alatt, kb. 60 liter/perc levegőmennyiséget képes kifújni.

Ha csak levegőmennyiség értékkel találkozunk (pl. liter/perc) a légkompresszor leírásában, az majdnem biztos, hogy az a légkompresszor által felvett levegő mennyisége. A gyártók meg szokták adni, hogy a szerszám által felvett levegőmennyiség értékét [liter/perc] mértékegységben. A légkompresszor leadott levegőmennyisége ennek a 60%-os értéknek kell, hogy minimum megfeleljen, természetesen ettől nagyobb lehet.

A nagyobb légkompresszor esetében felmerülhet a gyanú, hogy a biztosíték nem bírja el. Ez a 6 és 10 amperes biztosítékoknál szokott előfordulni. Ha a hálózaton 16 A-es kismegszakító van, akkor nagy valószínűséggel elbírja a légkompresszor teljesítményét.

Mindenképpen előnyös, amennyiben van levegő tartály. Ez akkor szükséges, ha a légkompresszor nem tudja olyan gyorsan termelni a sűrített levegőt, mint ahogy fogy. Csak akkor szokták elhagyni a tartályt, ha fontos szempont az, hogy a levegős kompresszor kis méretű és könnyű legyen.



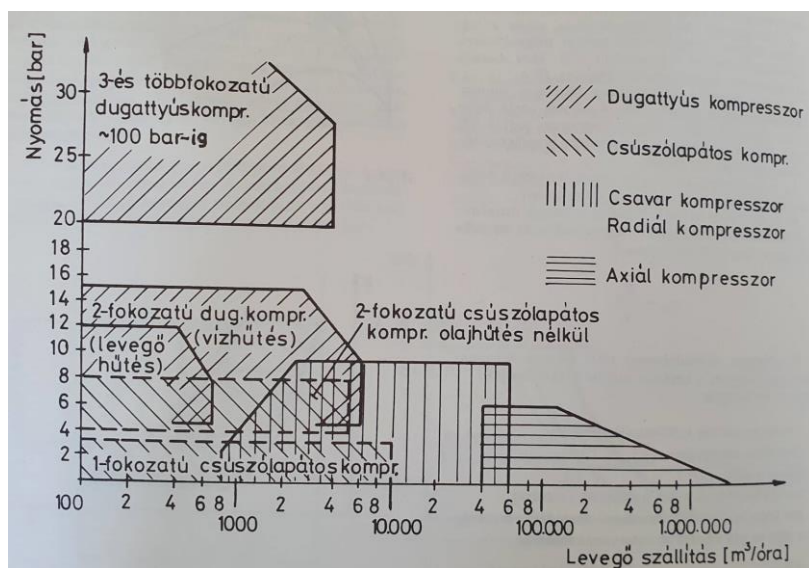
Ez esetben növeljük meg a légkompresszor teljesítményét. Ilyenkor általában a légkompresszor tartálya kisebb, mint ami szükséges lenne. Ha sokszor kapcsol be a levegős kompresszor motorja, tegyünk rá nagyobb tartályt, vagy kössünk rá a kompresszor tartályára egy másikat. Figyeljünk a mértékletességre, mert ha nagyon nagy a tartály, a légkompresszor motorjának sok időbe telik feltölteni.

A kisebb légkompresszor légsűrítője általában száraz szokott lenni, mivel ez olcsóbb megoldás és a kicsi légsűrítőnél teljesen elegendő ez a megoldás. A száraz légkompresszor motorjában a dugattyúgyűrűt teflonból készítik, ezért nem kell olajjal kenni. A henger hagyományos acélból készül. A 20 liter feletti tartályos légkompresszor esetében a gyártók az olajos kivitelűt javasolják. Az olajos légkompresszor úgy működik, mint egy hagyományos kisebb négyütemű, szóró olajozással ellátott motor [4].

A légszállítás, üzemi nyomás és teljesítményfelvételen kívül a következő adatok jellemzik a kompresszort:

- működési elv,
- fordulatszám,
- hűtési rendszer,
- fokozatszám,
- a hajtás módja,
- térkihasználás,
- telepítési lehetőség,
- zaj.

Az ipari léghálózatok kialakításánál elsőrendű szempont a nyomás és légszállítás követelményekhez igazodó leggazdaságosabb kompresszortípus meghatározása. A 2. ábra segítséget nyújt a megfelelő működési elven dolgozó kompresszor kiválasztásában.



2. ábra: Kompresszor kiválasztásának szempontjai [4].

Stabil kompresszortelepeken leggyakrabban használatos szabályozási módszer az időszakos megállítás, mivel ez az állandó fordulatszámú elektromotorokkal hajtott kompresszorok leg-gazdaságosabb szabályozási lehetősége. [4]

A kompresszor szakaszos üzemeltetését az teszi lehetővé, hogy a megfelelő méretű tartályból fedezhető a levegőszükséglet addig, míg a kompresszor üzemben kívül van. Helyesen méretezett rendszer esetén a kompresszor üzemének és az üzemszünetének egymást követő ciklusa

nem lehet kisebb 5 percnél. Ezen belül a bekapcsolási időtartam a teljes üzemidő 50%-a lehet (ED%). A kompresszorok kiválasztásánál a légszállítás méretezése az alábbi összefüggés alapján lehetséges:

$$Q_k \geq Q_L \frac{100}{ED\%} s \quad (1)$$

ahol:

- $Q_k$  a kompresszor légszállítása normálállapotra vonatkoztatva [normál m<sup>3</sup>/perc];
- $Q_L$  az átlagos levegőfogyasztás szintén normálállapotra vonatkoztatva [normál m<sup>3</sup>/perc];
- ED% a bekapcsolási időtartam százalékban;
- $s$  a biztonsági tényező (1,2).

A levegőtartály méretezésére az alábbi összefüggés érvényes:

$$V_T = \frac{15Q_k p_{sz}}{\Delta p \cdot z} \quad (2)$$

ahol:

- $V_T$  a tartálytérfogat [m<sup>3</sup>];
- $p_{sz}$  a szívóoldali nyomás [bar];
- $\Delta p$  nyomáskülönbség a tartályban a kikapcsolás és bekapcsolás között [bar];
- $z$  a kapcsolási ciklusok száma egy óra alatt.

A fenti formulában feltételeztük, hogy az átlagos levegőfogyasztás fele akkora, mint a kompresszor légszállítása. Ennél kevesebb fogyasztás esetén a kapcsolási ciklusok száma csökken.

Mivel konkrét értékeket nem kaptam, így egy egyszerű számpéldán keresztül mutatom be a kompresszor kiválasztásának meghatározását. Az átlagos levegőfogyasztás 3 m<sup>3</sup>/perc. Így a kompresszor szükséges légszállítása:

$$Q = 3 \frac{100}{50} 1,2 = 7,2 \frac{m^3}{perc} \quad (3)$$

A tartály térfogatának számítása, ha a szívóoldali nyomás 1 bar (abszolút nyomás) és a tartályban megengedett nyomásingadozás szintén 1 bar.

A kapcsolási ciklus 10 perc, így 1 óra alatt a kapcsolási ciklusok száma: 6.

$$V_T = \frac{15 \cdot 6 \cdot 1}{1 \cdot 6} = 18 m^3. \quad (4)$$

A gyakori kompresszorindítási műveletekből származó igénybevétel csökkentésére tehermentesített indítást célszerű alkalmazni. A kompresszor nyomócsonkját egy mágnesszelep segítségével az atmoszférával kötjük össze. A kompresszor üresjáratban indul és mindaddig, míg az üzemi fordulatszámot el nem érte, ellennyomás nélkül az atmoszférába dolgozik. A mágnesszelep vezérlését a motor csillagdelta indító kapcsolója végzi. A motor üzemi fordulataánál a mágnesszelep bezár és a kompresszor a visszacsapó szelepen keresztül tölti a tartályt.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során a hagyományos pneumatikus és hidraulikus rendszereket módosítani szükséges, elektropneumatikus és elektrohidraulikus rendszerré. A kompresszor méretezéséhez az alapvető paraméterek nem voltak ismertek számomra, de egy konkrét számítást bemutattam a dolgozatban, amit alapul véve a peremfeltételek ismeretében később pontosan meghatározható. A projekt kapcsán megfogalmazott javaslataimat az 1. táblázat tartalmazza.

*1. táblázat: Javaslatok.*

	Technológiai terület megnevezése	Javaslat megfogalmazása
1.	Kompresszor	A jelenlegi kompresszor cseréje szükséges (az előzőekben ismertetett számítások és kritériumok alapján). Ennek az az oka, hogy az olajozása a belsőégésű motor teréből, illetve hűtése a motorkörből volt megoldva.
2.	Hidraulikus rendszer	Az előző kormány szervó rendszert javasolt kiváltani, a Volvo 7700 B9L Hybrid típusúnál alkalmazottra, így beépítése nem okoz különösebb módosításokat.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Műszaki dokumentáció Volvo 7700 B9L autóbusz átalakításához
- [2] Volvo B9L alvázzal szerelt buszok alkatrészei: <https://avs-part.com/catalog/volvo/b9l/> (Megtekintés dátuma: 2023. április 29.)
- [3] FEKETE T.: *Alternating Current Hydraulic Drive the Possibility of Applying in the Automotive Industry*. Vehicle and Automotive Engineering pp 49-57, ISBN978-3-319-51188-7, 2017.
- [4] <https://www.tessitore-szerszamok.hu/> (Megtekintés dátuma: 2023. április 29.)
- [5] ELEK I., HUDÁKY J.: *Az ipari pneumatika alapjai*. Petőfi nyomda. Budapest, 1979.
- [6] <https://hfsz.hu/a-kompresszorok-szerepe-tipusai-mukodese-a-hutestechnikaban-cikkleiras-45>

# A PNEUMATIKUS VEZÉRLÉSI RENDSZER SZERELÉSÉNEK AJÁNLÁSAI A VOLVO 7700 B9L TÍPUSÚ BUSZ ELEKTROMOS ÁTALAKÍTÁSA KAPCSÁN

## RECOMMENDATIONS FOR INSTALLATION OF THE PNEUMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE ELECTRICAL CONVERSION OF THE VOLVO 7700 B9L BUS

**FEKETE Tamás**

tanársegéd, [tamas.fekete@uni-miskolc.hu](mailto:tamas.fekete@uni-miskolc.hu)

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet, Szerszámgépek Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A Miskolci Egyetemen egy projekt kapcsán azt a feladatot kaptam, hogy egy Volvo 7700 B9L típusú, CNG üzemű, szóló autóbusz teljesen elektromos meghajtással rendelkező átalakításához szükséges elektropneumatikus és elektrohidraulikus rendszerét alakítsam ki. Ehhez meg kellett vizsgálnom, hogy milyen hidraulikus és pneumatikus rendszerekkel van felszerelve. A jelen cikkben az autóbuszban használatos pneumatikus rendszer installálásának szempontjait vizsgáltam meg.

**Kulcsszavak:** Volvo 7700 B9L busz, pneumatikus rendszer installálása

**Abstract:** In connection with a project at the University of Miskolc, I was given the task of developing the electro-pneumatic and electro-hydraulic system necessary for the conversion of a Volvo 7700 B9L CNG-powered solo bus with a fully electric drive. I had to examine what hydraulic and pneumatic systems it is equipped with. In this article, I examined the aspects of installing the pneumatic system used in the bus.

**Keywords:** Volvo 7700 B9L bus, pneumatic system installation

## 1. BEVEZETÉS

A projektmunka során egy Volvo 7700 B9L (1. ábra) típusú, CNG üzemű szóló busz hidraulikus és pneumatikus rendszereit vizsgáltam meg. Ezeket a rendszereket négy nagyobb csoportba lehet sorolni [1, 2]:

- az ajtók nyitására és zárására gondoskodó pneumatikus rendszer;
- a fékrendszer;
- a gépjármű futóművében található légrugók pneumatikus rendszere; és
- az autóbusz kormányzását ellátó hidraulikus servo rendszer.

Az autóbusz ajtajainak nyitására gondoskodó és a futóműben található légrugók működtetéséhez szükséges pneumatikus rendszer, amelyet elektropneumatikus rendszerré kell átalakítani. A mechanikus működésű kormányzást ráségítő rendszert elektrohidraulikus rendszerre szükséges cserélni. A szivattyút egy villanymotor segítségével hajtánánk meg, s ez az olaj hidraulikus tömlőkön keresztül [3] érkezne a kormányműbe, amelyben a nagynyomású olaj egy dugattyús rendszer segítségével oldaná meg a fogasléc elmozdulását. A Volvonál ez beszerezhető gyári alkatrészként, amelyet a 7700 B9L Hybrid típusúnál alkalmaznak.

A pneumatikus/hidraulikus vezérlési rendszerek szerelése – mivel tipizált elemekkel dolgozunk – sok tipikus mozzanatot, munkafogást tartalmaznak. A szerelést a gép dokumentációjának tanulmányozásával kezdjük. Ez természetesen nemcsak gépészeti összeállítási és részletrajzokból áll, hanem a pneumatikus vezérlés ciklusdiagramjából, kapcsolási vázlatából és mű-

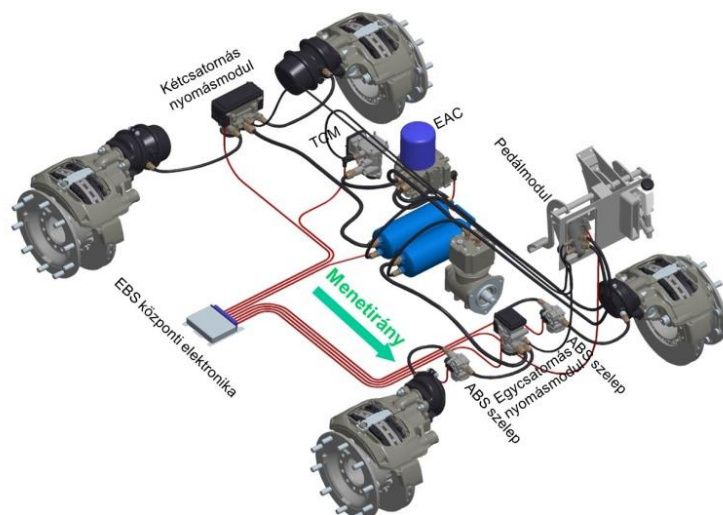
ködésének leírásából is. Most elsősorban a pneumatikus vezérlési rendszer ajánlott lépéseit szeretném ismertetni a továbbiakban.



1. ábra: A Volvo 7700 B9L típusú szólóbusz [4].

## 2. A PNEUMATIKUS VEZÉRLÉSI RENDSZEREK SZERELÉSÉNEK ÚTMUTATÓJA

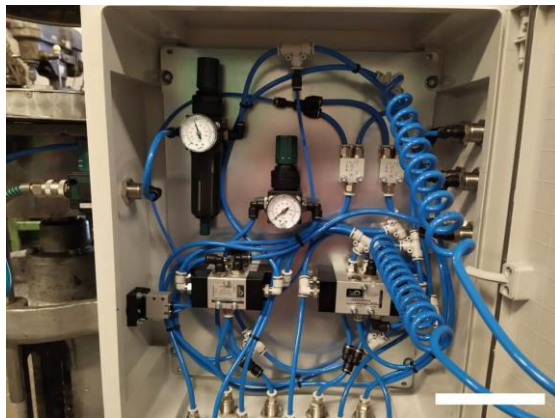
A léghengerek szerelését (2. ábra) a henger állványra való felerősítésével kezdjük. A léghengerek üzemszerű működésének és nagy élettartamának biztosításának előfeltétele, hogy a dugattyúrúdra csak rúdirányú erő hathat. Ezen okból lényeges a megfelelő hengerfelerősítő és dugattyúrúd csatlakozó elemek alkalmazása.



2. ábra: A fékrendszer léghengerének ajánlott elhelyezése [6].

A munkahengerekkel mozgatott szerkezeti elemek beállítása után a szerelést az ezekből működtetett helyzetimpulzus-szelepek elhelyezésével folytatjuk. Ezek felerősítése, ill. a működtető elemek kiképzése olyan legyen, hogy az elemek gyors helyzetbeállítása, illetve szükség szerinti átállítása egyszerűen és gyorsan megvalósítható legyen. Vigyázni kell arra, hogy a szelep működtető elemét csak a mozgástartományán belül vegyük igénybe. Az esetleges túlterhelés a szelep sérüléséhez vezethet [7]. Maga a szelep sohasem veheti át a mechanikus ütköző

szerepét [5]. A szelepek szerelésénél a csatlakozókat védő ragasztásokat és zárósapkákat hagyjuk a helyükön, egészen az őket összekötő csővezetékek felhelyezéséig. Az olyan szelepeket, amelyeknek nincs helyhez kötött feladatuk (pusztán a működő rendszerhez szükségesek), célszerű vezérlőszekrényekben elhelyezni. A vezérlőszekrények használata megkönnyíti a rendszer kezelését és karbantartását (3. ábra).



3. ábra: A vezérlőszekrény könnyen átlátható [8].

A vezérlőszekrénybe a szelepeket érdemes csoportosan elhelyezni, ezáltal sokkal átláthatóbbá és gyorsabbá válik a szerelés.

A csővezetékek installálását a vezérlőszekrény és az egyes munkavégző és irányító elemek rögzítése után, a táplevegőhálózattal, azaz a legnagyobb méretű tömlők csatlakoztatásával kezdjük. Ajánlott a fővezetékét körvezetéként elhelyezni, mert így könnyebben rá tudunk csatlakozni, amennyiben szükséges, továbbá ezáltal a későbbi esetleges módosításokat is sokkal könnyebben meg lehet majd oldani. Ehhez hatékonyan hozzájárul, ha néhány tartalék csatlakozási pontot is kialakítunk. Ezeket a körvezetékeket egy úgynevezett gyűjtőtérrel kell ellátni, amelyet évente 3-4 alkalommal ürítve a fővezetékéből az összegyűlő szennyeződéstől meg tudjuk szabadítani a rendszert.

A fém csővezetékek hajlítását hidegen kell elvégezni. Minden esetben speciális csőhajlító szerszámmal végezzük. A vezetékek hajlítása céljából tilos őket homokkal feltölteni, mert később nem tudjuk tökéletesen eltávolítani a rendszerből és a pneumatikus rendszer meghibásodásához vezethet.

## 2.1. Üzembe helyezés

A csővezetékek kiépítése után a vezérlés kipróbálása és az autóbusz teljes munkamenetének ellenőrzése következik. A pneumatikus rendszer biztonságos üzembe helyezéséhez az alábbi lépéseket kell követni:

- Bizonyosodjunk meg arról, hogy az egész gép nyomásmentes.
- Az összes szelep vezérlő levegőjét kapcsoljuk ki (pl. a vezérlő levegőt teljesen külön körről lássuk el egy 3/2-es szeleppel, amivel lezárhatjuk és légteleníthetjük is).
- Zárjuk a hengerek sebességét szabályzó összes fojtó (fojtó és visszacsapó) szelepet.
- Fokozatosan kapcsoljuk a táplevegőt a rendszerre. Folyamatosan ellenőrizzük, hogy van-e esetlegesen szivárgás. Ezután vezéreljük a főszelepekkel a munkavégző elemeket alaphelyzetbe, a fojtásokat fokozatosan nyissuk meg az előírt mennyiségükig.
- Amennyiben az összes munkavégző elem a helyes kiindulási helyzetben van, úgy ellenőrizzük, hogy az összes helyzet-impulzus-szelep működtetése kielégítő-e, a túlterhelésének legkisebb gyanúja nélkül.



- Hozzuk működésbe a vezérlő levegőt és ezután minden rendszer üzemeltethető. Ezután állítsuk be a tápnyomást és a dugattyúk sebességét, és amennyiben van, úgy az időtagokat is. Végezetül állítsuk be az olajködkenő berendezéseket a tényleges levegőfogyasztásnak megfelelően.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során a gyártó által telepített pneumatikus és hidraulikus rendszereket módosítani kell, elektropneumatikus és elektrohidraulikus rendszerré, hogy megfeleljen az új, elektromos üzemű busz számára. Ennek a szerelési (üzemeltetési) folyamatnak az elsődleges ajánlásait foglalmaztam meg jelen tanulmányban, ami nagyban hozzájárul a későbbi karbantartások leegyszerűsítéséhez. A projekt kapcsán a főbb elemek cseréje tekintetében megfogalmazott javaslataimat az 1. táblázat tartalmazza.

*1. táblázat: Javaslatok.*

	Technológiai terület megnevezése	Javaslat megfogalmazása
3.	Légsűrítő	A jelenlegi kompresszor cseréje szükséges (az előzőekben ismertetett számítások és kritériumok alapján). Ennek az az oka, hogy az olajozása a belsőégésű motor teréből, illetve hűtése a motorkörből volt megoldva.
4.	Kormány szervó	Az előző kormány szervó rendszert javasolt kiváltani, a Volvo 7700 B9L Hybrid típusúnál alkalmazottra, így beépítése nem okoz különösebb módosításokat.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Műszaki dokumentáció Volvo 7700 B9L autóbusz átalakításához
- [2] Volvo B9L alvázzal szerelt buszok alkatrészei: <https://avs-part.com/catalog/volvo/b9l/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 16.)
- [3] FEKETE T.: *Alternating Current Hydraulic Drive the Possibility of Applying in the Automotive Industry*. Vehicle and Automotive Engineering pp 49-57, ISBN978-3-319-51188-7, 2017.
- [4] <https://platesmania.com/hu/foto11761271> (Megtekintés dátuma: 2023. május 16.)
- [5] KRÖELL DULAY I.: *Hidraulikus rendszerek*. Műszaki könyvkiadó, Budapest 1977.
- [6] [https://mogi.bme.hu/TAMOP/futomu\\_rendszerek\\_mechatronikaja/ch13.html](https://mogi.bme.hu/TAMOP/futomu_rendszerek_mechatronikaja/ch13.html) (Megtekintés dátuma: 2023. május 16.)
- [7] ELEK I.: *Az ipari pneumatika alapjai*. Petőfi nyomda, Kecskemét 1979.
- [8] <https://monojet-ipartechnika.hu/pneumatikus-rendszer-felujitasa> (Megtekintés dátuma: 2023. május 16.)

## AZ AKKUMULÁTOROK ANYAGAINAK FEJLESZTÉSE

### DEVELOPMENT OF MATERIALS FOR BATTERIES

**KOZSELY Gábor**

Ph.D., egyetemi adjunktus, gabor.kozsely2@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,  
Elektrotechnikai-Elektronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A cikk rövid szakirodalmi összefoglalót ad a villamos meghajtású gépjárművek akkumulátorainál alkalmazott anyagok fejlesztésével kapcsolatban. Bemutatja az akkumulátor típusok kialakulását, fejlődését. Az savas ólomakkumulátor is rövid ismertetésre kerül, mert ez volt az első széleskörben alkalmazott akkumulátortípus, amely csak közeljövőben kezd háttérbe szorulni. Jelenleg a lítiumion akkumulátorok élik virágkorukat, túl távoli jövőben a szilárdtest akkumulátorok és grafén alapú akkumulátorok is jelentős szerep jut villamos meghajtású gépjárműveknél is.

**Kulcsszavak:** szekunder elemek, savas ólomakkumulátor, lítiumion akkumulátorok,

**Abstract:** The paper provides a brief literature review on the development of materials for use in batteries for electric vehicles. It describes the development and evolution of battery types. The lead-acid battery is also briefly described, as it was the first battery type to be widely used and is only now beginning to be abandoned. Lithium-ion batteries are currently in their prime. In the near future, the solid-state batteries and graphene-based batteries will also play a significant role in electrically powered vehicles.

**Keywords:** secondary batteries, lead acid batteries, lithium-ion batteries

## 1. BEVEZETÉS

Az elektromosság felfedezése az emberiség egyik legnagyobb vívmánya, és drámaian megváltoztatta az emberi életet, modernizálva és kifinomultabbá téve azt. Az elektromosság lehetővé tette az ipar, a közlekedés, a kommunikáció és más területek fejlődését. Az elektrokémiai energiaforrások szerepe kezdetben meghatározó volt az elektromos áram előállításában és tárolásában. Ezért számos kémikus és fizikus a XIX. század elején a különböző kémiai energiaforrások feltalálásának és fejlesztésének szentelte életét.

Az elektrokémia a kémia, azon belül a fizikai kémia egyik ága. Az elektromos áram hatására bekövetkező kémiai változásokkal, valamint a kémiai energia elektromos energiává alakításának folyamataival, törvényszerűségeivel foglalkozik [1, 2, 3].

## 2. AKKUMULÁTORTÍPUSOK

Az elektromos energia tárolására kétféle eszközt használnak, a szaknyelvben primer és szekunder elemeknek nevezik.

A primer elemek elektrokémiai hatóanyagokkal megtöltve, lezárva kerülnek forgalomba. A hatóanyag áramtermelés közbeni elhasználódása (az elem kimerülése) után ezek nem regenerálhatók, hanem végleg használhatatlanná válnak (elektrodfolyamataik nem megfordíthatók). Úgy is tekinthetjük az ilyen elemek, hogy egy adag elektromos energiát tartalmaznak, amely adott határok között tetszés szerinti részletekben használható fel. Úgy is tekinthetjük az ilyen elemek, hogy egy adag elektromos energiát tartalmaznak, amely adott határok között tetszés szerinti részletekben használható fel. Fő követelmény a primer elemekkel szemben, hogy minél kisebb méreteken minél több energiát tartalmazzanak, és minél tartósabbak legyenek (kicsi legyen az „önkisülés”).

A szekunder elemek jó közelítéssel megfordíthatóan működő galvánelemek, amelyekben kimerülés, vagyis hatóanyagok részbeni elhasználódása után, ellentétes irányú áram átvezetésével visszaállítható az eredeti állapot, és ez a folyamat nagyon sokszor megismételhető az elem károsodása nélkül. Az akkumulátor töltésekor annak negatív elektródjában redukció (tehát az a katód), pozitív elektródjában pedig oxidáció (tehát ilyenkor ez az anód) történik. Fontos, hogy az áramtermelés és az eredeti állapot visszaállítása (a kisütés és a töltés) minél jobban közelítse meg a termodinamikai értelemben vett reverzibilitást [1, 2, 3, 4, 5, 6].

A ma használatos akkumulátorokban a két pólust egy vékony szeparátor fólia választja el egymástól, ami elektromosan szigetel, így az akkumulátoron belül nem zár rövidre, de átengedi a szerves oldószer alapú elektrolit ionjait, így lehetővé téve az energiatároló folyamatos működését, azaz töltését és kisütését.

A köznyelvben a primer elemeket "elem" néven, a szekunder cellákat "akkumulátor" néven használja [1, 2, 3].

A gyakorlatban alkalmazott akkumulátorokkal szemben a következő feltételek támasztjuk [1]:

- a rendszerben csak egyfajta elektrolit legyen;
- működése közben ne legyen gázfejlődés;
- a kapocsfeszültség minél nagyobb legyen,
- nagy legyen a kapacitása,
- a kapocsfeszültség üresjáráskor közben ne változzon, azaz ne legyen önkisülés.

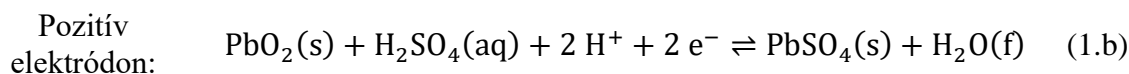
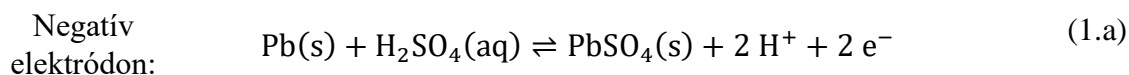
## 2.1. Savas ólomakkumulátor

Az első gyakorlatban is használható szekunder elem az savas ólomakkumulátor volt, amelynek 1854-ben Wilhelm Josef Sinstedden (1803-1891) felfedezte az ólomakkumulátor alapját képező elektrokémiai rendszer, amikor a kénsav ( $H_2SO_4$ ) galvanikus úton való felbontására tett kísérlet során ólemelektrodákat használt. Megfigyelte, hogy amikor az áram be van kapcsolva, a pozitív elektródra ólomdioxid ( $PbSO_4$ ) rakódik. Amikor kikapcsolta a külső áramforrást, és a két elektródot összekötötte, akkor a külső körben áram folyt mindaddig, míg az ólomdioxid újra el nem bomlott. Sinstedden kísérleteiről mit sem tudva 1859-ben Raymond Louis Gaston Planté (1834-1889) francia fizikus ugyanezt figyelte meg, és a jelenséget úgynevezett „akkumulátor-cellák”, „akkumulátorok” vagy „áramgyűjtők” előállítására használta fel [4, 5, 6].

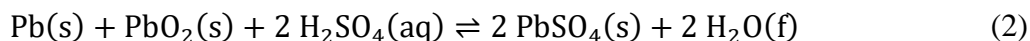
Eredetileg a savas ólom akkumulátor kénsavba ( $H_2SO_4$ ) merített ólom-anódból (Pb) és ólomdioxid (PbO) katódból áll. Galvánelemként, mindkét elektróda reakcióba lép a savval, és ólom-szulfát keletkezik, de az ólom anódon lejátszódó reakció elektronokat szabadít fel (oxidáció), míg az ólom-dioxidon lejátszódó reakció elektronokat fogyaszt (redukció), Ezáltal jön létre az elektronok áramlása.

Az elektrolit nagyjából 35 m/m%-os kénsav vizes oldata ( $\approx 6 \text{ mol/dm}^3$ ), mert ez vezetési fajlagosan legjobban az áramot. Ha a kénsav töményebb, akkor nehezebben disszociál, mert nem lenne annyi víz, hogy le tudja adni a hidrogéniont.

Az elektródfolyamatok az (1.a, 1.b) reakcióegyenlettel írhatók le [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]:

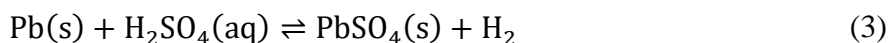


A bruttóreakció az (2) egyenlettel írható le:



A folyamat kisütéskor a felső, töltéskor az alsó nyíl irányába megy végbe. Végeredményben tehát elektróda felülete ólom (II)-szulfáttá ( $\text{PbSO}_4$ ) átalakulva, a potenciálkülönbség megszűnik, és az akkumulátor kimerül. Feltöltésnél az elektródáknál a reakció az alsó nyíl irányában megy végbe, így ismét ólomhoz (Pb) ólom (IV)-oxidhoz ( $\text{PbO}_2$ ) jutunk, és a kénsav eredeti koncentrációja helyreáll.

A savas ólomakkumulátor előnye a hosszú élettartama és a nagy kapacitása, hátránya, hogy a (3) egyenlet értelmében önkisülé megy végbe [1]:



Az elektromotoros erő első közelítésben az pozitív és negatív oldali reakcióknak a standard elektródpotenciál különbségéből számítható. A pozitív oldal standard elektródpotenciálja 25 °C-on 1,68 V és negatív oldalé -0,356 V, ez alapján a akkumulátor elektromotoros ereje 2,036 V-nak adódik. Pontosabb számításokhoz a Nerst-egyenletet kell alkalmazni, amely figyelembe veszi az elektrolit-oldat koncentrációját, az elektród reakciónként keletkező, illetve elnyelt elektronok számát, valamint a hőmérsékletet is [1, 2, 3, 4, 5, 6].

A számítások tovább pontosíthatók, ha figyelembe vesszük az anyagok termodinamikai állapotfüggvényeit. A valóságban ebben a rendszerben számos elektrokémiai reakció megy végbe, amelyek az ólomion valenciájától, az oldat összetételétől és pH értékétől, valamint az elektródpotenciáltól függően különböző elektródrendszereket alkotnak. Az elektrokémiai reakciók egyensúlyi potenciáljai a függenek az oldat pH-értékétől. A hőmérséklet a második paraméter, amely befolyásolja az elektromotoros erőt. A szabadentalpia és a hőmérséklet közötti összefüggést a Gibbs – Helmholtz egyenlet fejezi ki. A sav hígulásával kapcsolatos entalpia-változást is figyelembe kell venni. Kísérletileg meghatározták az ólomsavas cellák elektromotoros erejének hőmérsékletfüggését a 0 és 60 °C közötti tartományban, 0,05 és 7,0 mólos savkoncentráció esetén, az adatokra parabolikus összefüggést illesztettek a függvény együtthatói viszont függenek savkoncentrációtól. Ezeknek a kísérleti adatokból kapott értékeit, a termodinamikailag számított értékekkel és összehasonlítva jó egyezést kapunk. [5]

Planté első modellje két ólomlemezről állt, amelyeket gumicsíkok választottak el egymástól, és spirálba tekertek. 1881-ben Camille Alphonse Faure (1834–1889) tovább fejlesztette, amely egy ólomrácsos rácsból áll, amelybe ólomoxid-pasztát nyomtak, és így egy lemezt képeztek.

A XX. században számos új anyag és újszerű technológiai eljárások kerültek kifejlesztésre, amelyek gyakorlati alkalmazásra találtak a savas ólomakkumulátorok felépítésébe és gyártási technológiáiban.

Az ebonit akkumulátorház helyébe a polipropilén és a polietilén kopolimer, illetve az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) lépett. Az eredetileg fából készült lemezszeperatorok helyett először a szinterezett PVC-t, majd később polietilénre vagy polipropilénre használtak, sőt és egyes akkumulátortípusoknál az abszorpciós üvegszövet (AGM). Ez fehér színű, bársonyos tapintású, nedvszívó anyag. Ezt az anyagot akár lemezként, de jellemzőbben: tasak vagy boríték formájára képezik ki és minden második elektródot egy üvegszövet tasakba bújtatnak.

Az elsőként használt rácsötvözetek 11% antimon tartalmú ólomötvözetek voltak, amelyeket kemény ólomnak neveztek. igen jól önthető ötvözet. Ezeket az ötvözeteket ón (Sn) hozzáadásával alacsony antimontartalmú ólomötvözetekkel váltották fel, amelyet még arzénnal (As) és ezüsttel is (Ag) ötvöztek. Később az elemrács-gyártók átálltak az ólom- és kalcium-elektromos ólomra. és ólom-kalcium-ón ötvözetekre [4, 7, 8].

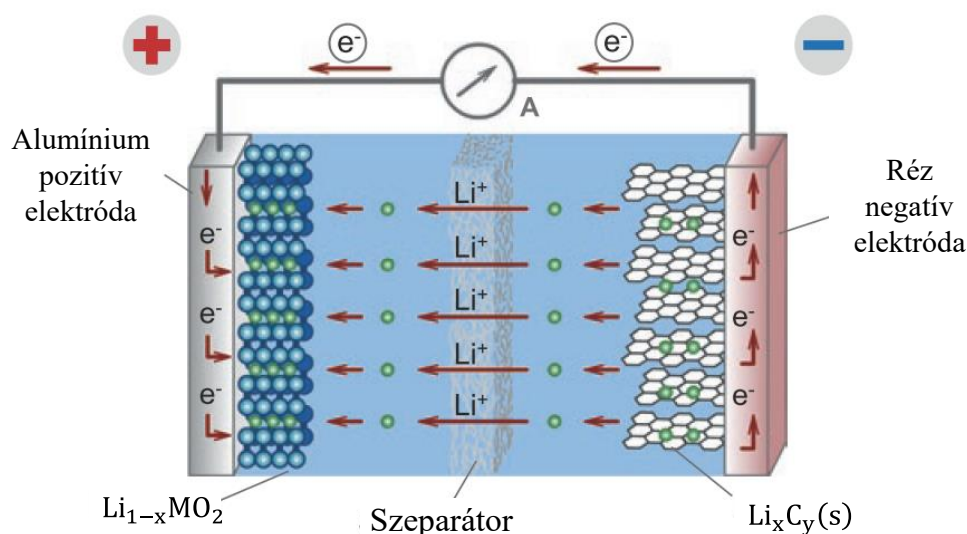
A ma gyártott, karbantartásmentes, tehát teljesen zárt akkumulátorokat az előállító vállalat villamosan feltöltve hozza forgalomba. Ezek azonnal az autóba építhetők. Minden gyártó ajánlja, hogy az autóval lehetőség szerint először hosszabb útra induljunk. Ez azt sugallja, hogy nem árt, ha több órán át állandó feszültséget kapcsolunk sarkaira [7].

A villamos meghajtású gépjárművek akkumulátorainak fejlesztésekor a fő prioritása a nagyobb kapacitás és hosszabb élettartam. A jelenleg az alábbi típusokat képezik a fejlesztések fő irányát:

- **Lítium-ion akkumulátorok:** Az akkumulátor technológia legnagyobb forradalmának a lítium-ion akkumulátorok fejlesztése tekinthető. Az ilyen típusú akkumulátorok nagyobb energia sűrűséggel és hosszabb élettartammal rendelkeznek, mint a hagyományos ólomsavas vagy nikkell-kadmium akkumulátorok. A lítium-ion akkumulátorokat ma már széles körben alkalmazzák a villamos meghajtású gépjárművekben is.
- **Szilárdtest akkumulátorok:** A szilárdtest akkumulátorok nagyobb kapacitással és hosszabb élettartammal rendelkeznek, mint a hagyományos lítium-ion akkumulátorok. Ezenkívül biztonságosabbak is, mivel nincsenek folyékony elektrolitok, amelyek tüzet okozhatnak. Az ilyen típusú akkumulátorokat azonban még csak korlátozottan alkalmazzák a villamos meghajtású gépjárművekben.
- **Grafén alapú akkumulátorok:** A grafén egyike azoknak a szénelapú anyagoknak, amelyek nagy potenciállal rendelkeznek az akkumulátorok fejlesztése terén. A grafén alapú akkumulátorok nagyobb energiasűrűséggel és hosszabb élettartammal rendelkeznek, mint a hagyományos lítium-ion akkumulátorok.

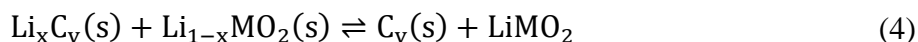
## 2.2. Lítiumion akkumulátor

A két elektróda között egy ionvezető elektrolit (amely disszociált lítiumvezető sókat tartalmaz) helyezkedik el. A szeparátor, egy porózus membrán, amely a két elektródát elektromosan elszigeteli egymástól, szintén ebben a helyzetben van. A lítium-ion akkumulátorok elektródái között töltés és kisütés közben egyes lítiumionok oda-vissza vándorolnak, aktív anyagok kristályrács rétegek közé Li-ionok tudnak beépülni, illetve onnan ki tudnak lépni. Az előbbi jelenséget hívják és interkalációnak, az utóbbit pedig deinterkalációnak. A pozitív elektród aktív anyagai például komplex oxidok. A negatív elektróda aktív anyagai főként grafit és amorf szénvegyületek. A lítiumionok a kisülés során a negatív elektródról az elektroliton és a szeparátoron keresztül a pozitív elektródra vándorolnak. Ezzel egyidejűleg az elektronok, mint áramhordozók a negatív elektródról egy külső elektródon keresztül vándorolnak a negatív elektródba. (kábél) keresztül a pozitív elektródára. Töltéskor ez a folyamat megfordul: A lítiumionok a pozitív elektródáról a pozitív elektródára vándorolnak. elektroliton és a szeparátoron keresztül a negatív elektródára. [5, 6, 7]. Az 1. ábrán a lítium akkumulátor sematikus ábráját mutatom be.



1. ábra: Lítium-ion akkumulátor felépítése (a képen a kisütési folyamat látható) [8].

A bruttóreakció teljesen általános esetben a (4) egyenlettel írható le, ahol M valamilyen fém, például. kobaltot vagy mangánt jelent:



A lítium-ion cellákat különböző aktív anyagokkal lehet állítják elő. Ez ellentétben olyan hagyományos cellarendszerekkel, mint az ólom-savas, nikkell-kadmium vagy nikkell-fémhidrid rendszerek, mert ezek egyetlen vegyianyagon alapulnak. A különböző aktív anyagok határozzák meg az egyes cellák eltérő feszültségét. Például a lítium-kobalt-oxid ( $\text{LiCoO}_2$ ) a szénnel szemben magasabb feszültséget tesz lehetővé, mint a lítiumvas-foszfát ( $\text{LiFePO}_4$ ) a lítium-titánáttal ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) szemben [4, 5, 8].

A másodlagos lítiumcellák kezdetben fém lítiumfóliát használtak (negatív elektród). A tiszta lítiumnak nagyon magas a fajlagos kapacitása (3860 mAh/g) és nagyon negatív potenciálja, ami nagyon magas cellafeszültséget eredményez. A töltés-kisütés ciklus hatásfok azonban csökken, mivel a lítium a cella kisülése közben többször is kioldódik, a töltés közben pedig lítium rakódik le. Ez azt jelenti, hogy a normál lítiummennyiség két-háromszorosát kell felhasználni. Ezenkívül dendritek formájában a lítium lerakódhat. Ez utóbbiak a szeparátoron keresztül nőhetnek. Ezek a dendritek helyi rövidzárlatokat okozhatnak, ami a cella teljes önkisüléséhez vezethet, vagy legrosszabb esetben belső termikus láncreakcióhoz, tűzhöz vagy robbanáshoz [4, 5, 7].

Napjainkban már csak a kis cellákat (különösen a gombcellákat) gyártják tömegesen. Ezek a lítium-fém anódokkal alacsony követelményeket teljesítenek a ciklikus stabilitás és a gyors feltölthetőség tekintetében. Nemrégiben azonban újraindultak a nagy kapacitású cellákkal végzett kísérletek. E kísérletek során speciális szeparátorokat [8].

A lítium-ion cellákban az akkumulátorok szeparátorai többnyire poliolefineken alapulnak, amelyekbe fizikai eljárással szubmikron méretű lyukakat vezetnek be. Ezek az akkumulátor-szeparátorok gyártási eljárásuk alapján két osztályba sorolhatók: mikroporozus poliolefin membránok és nedves membránok. Kémiai és fizikai összetételükből adódóan e két szeparátorosztály részben rendkívül eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek.

Az akkumulátorgyártók jelenleg a mai membránok javításán, illetve teljesen új megközelítések megtalálásán dolgoznak, hogy megfeleljenek az elektromos mobilitás támasztott követelményeknek. Az új anyagok független értékeléshez azonban még nincs elegendő adat. A közeljövőben várhatóan új piaci szereplők jelennek meg, akik a legmodernebb technológiát kínálóktól igyekeznek megkülönböztetni magukat.

Jelenleg a legjelentősebb anódanyagok (az alkalmazástól függően): szintetikus grafit, természetes grafit, amorf szén (kemény és lágy szén) és lítium-titanát. A grafit rendelkezik a legkiegyensúlyozottabb profillal, a teljesítmény, az élettartam és a biztonság tekintetében, és ennek következtében messze a legnagyobb piaci részesedéssel. A kompozitok (ebben az összefüggésben elsősorban a C/Si) azonban a hosszú távú jövőben a fejlődéstől függően valószínűleg egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert.

Katódanyagként lítium átmeneti fémekkel alkotó vegyületeit alkalmazzák. Ezeknek vegyületeknek a töltési folyamat során képesek a lítiumionokat a kristályszerkezetből deinterkalálni. Az átmeneti fémionok a vegyület töltéssemlegesség miatt oxidálódnak, ezért az átmeneti fémkation oxidációs száma nő. Az akkumulátor kisütése az átmeneti fémionokat az oxidációs száma csökken.

A katódanyagok leggyakrabban vizsgált rendszere a  $\text{LiMO}_2$  ( $M = \text{Co}$  és/vagy  $\text{Ni}$  és/vagy  $\text{Mn}$  és/vagy  $\text{Al}$ ). A rendszer határfázisait, a bináris vegyületeket jelölik ki, és a legismertebb ternér fázist  $\text{Li}_{1-x}(\text{Ni}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33})\text{O}_2$ .

A lítium-kobaltoxid a legelterjedtebb katódanyag. Ha a lítiumot az lítium-kobalt-oxid kristályszerkezetből deinterkaláljuk, a  $\text{Co}^{4+}/\text{Co}^{3+}$  redoxpár képződik, ami egy 4,0 V körüli potenci-



ált hoz létre  $\text{Li}/\text{Li}^+$  ellenében. Szinte az összes lítiumion elektrokémiai úton távozik a szerkezetből, ami 274 mAh/g elméleti kapacitást eredményez. Az alacsony lítium tartalmú fázis ( $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ ;  $x < 0,7$ ) instabilitása miatt a töltési feszültség tartománya kisebb 4,2 V. Ez azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló lítiumnak csak valamivel több mint a fele használható. Ezért a maximális reverzibilis kapacitás 140-150 mAh/g. A  $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$  lapos töltési/kisütési karakterisztikájának 3,9 V-os a feszültségszintje, legalacsonyabb feszültségszint 0,1 V-os a szokásos lítium-interkaláció esetén [4, 6, 8].

Az lítium-kobalt-oxid katód biztonsági kockázata és magas költsége miatt módosításra szorult. Ha az összes kobaltot olcsóbb nikkellel helyettesítjük a szerkezetben, akkor lítium-nikkel-oxidot ( $\text{Li}_{1-x}\text{NiO}_2$ ) kapunk, amely ugyanolyan szerkezetű, mint lítium-kobalt-oxid, de magasabb 200 mA/g körüli reverzibilis kapacitással rendelkezik. A kobaltot csak részben helyettesítik nikkellel.

A lítium-mangán-oxid ( $\text{Li}_{1-x}\text{MnO}_2$ ) vegyület gazdasági és ökológiai szempontból is rendkívül érdekes lenne. Egy ilyen vegyülethez két lehetséges fázis áll rendelkezésre ( $\text{Li}_2\text{O}$  és  $\text{MnO}$ ), amely elektrokémiai aktivitásuk tekintetében jelentősen különböznek egymástól. Továbbá nehéz szintetizálni, mert termodinamikailag nem előnyös az ilyen szerkezet létrejötte.

Jelenlegi kutatások abban az irányban mutatnak, hogy alacsony kobalt-tartalmú vegyületeket alkalmazzanak, 25 %-nál kevesebb kobaltot vagy 25 %-nál kevesebb mangánt tartalmazzon. Továbbá az olcsóbb fémek alkalmazása csökkentheti a költségeket és növelheti a kapacitást. Tanulmányok kimutatták, hogy a magas nikkeltartalom pozitív hatással van a kapacitásra, és akár 190 mAh/g értékeket is lehetővé tesz [8].

### 2.3. Szilárdtest akkumulátor

A szilárdtestes akkumulátor működése sokban hasonlít a lítiumion akkumulátoréhoz. Ebben is ionok áramolnak a pozitív pólus, a katód és a negatív pólus, az anód között. A különbség az, hogy az elektrolit nem folyékony, hanem szilárd. Innen jön a technológia neve. Egyes vélemények szerint mindenben felülma lítiumion-akkumulátorokat: Két-háromszor nagyobb kapacitást ígér. Könnyebb olyan értelemben, hogy egy egységnyi súlyú akkumulátor több áramot tud tárolni. Biztonságosabb, mert a szilárdtestes akkumulátorokat nem kell hűteni, és nem fenyeget a veszélye, hogy kigyulladnak. Gyorsabb töltés, pártolói szerint akár ötperc alatt fel lehet majd őket tölteni.

A szakértők még csak találgatnak, mikorra lesz piacképes a technológia. Egyesek szerint már nemsokára kaphatók lesznek ilyen járművek. Más vélemények szerint viszont 2030-ig még várni kell ezekre az autókra. A másik nagy kérdés az ár. A mostani kutatási tapasztalatok alapján szilárdtestes akkumulátor gyártási költségei igen magasak lesznek. Jelenleg nem lehet megmondani, mennyivel lesz olcsóbb vagy drágább a lítiumion-akkumulátoroknál.

## 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk röviden áttekintette a szekunder elemek, azaz akkumulátorok múltját és jelenét, valamint röviden felvázolta a legvalószínűbb jövőképet. Az 1. táblázat összefoglalja a jelenleg a piacon kapható akkumulátor típusok paramétereit, előnyeit és hátrányait, valamint legfőbb alkalmazási területüket.

A savas ólomakkumulátornak több, mint másfél évszázados múltja van, de jelen állás szerint túllépett rajta az idő. Mindazonáltal a technológia, alkalmazott fejlesztései részben alkalmazhatók más típusú akkumulátoroknál is. Minden akkumulátor anyagtudományi fejlesztése a pozitív és negatív elektróda, az elektrolitoldat, illetve a szeparátor anyagának fejlesztésére irányul.

A jelenleg felfutó típus a lítiumion akkumulátor nagy erővel folyik a kutatás a technológia

tökéletesítése. Azonban egyes vélemények szerint 20 éven belül teljesen eltűnik, mivel kiszorítja a szilárdtest akkumulátor. Egyelőre még nem lehet megmondani, hogy ez az állítási igaz lesz-e, mert jórészt ez azoktól származik az ilyen irányú fejlesztésekbe jelentős erőforrásokat investáltak.

**1. táblázat: A piacon jelenleg kapható akkumulátortípusok technikai paramétereit.**

Rendszer	Névleges cellafeszültség	Kapacitás Wh/kg	Előnyök	Hátrányok	Alkalmazások
Ólomsavas	2,00	35	Alacsony költség; nagy és alacsony hőmérsékletű működés	Alacsony ciklusos élettartam; alacsony energiasűrűség; gyenge töltésmegtartás	Autók; fűnyírók; repülőgépek
Ni/Cd	1,20	30	Jó fizikai tartósság; jó töltésmegtartás; jó életciklus	Magas költség; memóriahatás	Repülőgépek; vészhelyzeti áramellátási alkalmazások
Ni/Fe	1,2	60	Jó fizikai tartósság; hosszú ciklus és állandó élettartam	Alacsony teljesítmény- és energiasűrűség; magas önkisülés; magas költségek	Helyhez kötött alkalmazások; targoncák
Ni/Zn	1,60	27	Nagy energiasűrűség; alacsony költség; jó alacsony hőmérsékleti teljesítmény	Gyenge élettartam	Elektromos robotok/kerékpárok; katonai járművek
Zn/AgO	1.50	90	Legnagyobb energiasűrűség; alacsony önkisülés; magas kisütési sebesség	Magas költség; alacsony ciklusos élettartam; alacsony teljesítmény alacsony hőmérsékleten	Katonai berendezések, pl. torpedóhajtás, tengeralattjárók.
Cd/AgO	1.20	55	Nagy energiasűrűség; alacsony költség; jó teljesítmény alacsony hőmérsékleten	Gyenge ciklikus élettartam	Elektromos robotok/kerékpárok; katonai járművek
Ni/H2	1.40	55	Nagy energiasűrűség; jó ciklikus élettartam; tűri a túltöltést	Magas kezdeti költség; a H2 nyomással arányos önkisülés.	Repülőgépipar
Ag/H2	1.40	80	Nagy energiasűrűség; jó élettartam	Magas költség - katonai és űrkutatási alkalmazásokra korlátozódik.	Légi- és űrkutatás
Li/Polimer	akár 4,2	135	Magas fajlagos energia; jó eltarthatóság; formázható; nem illékony	Magas költség; drága szabályozási módszerek szükségesek a töltéshez/kisütéshez	Mobiltelefonok

Összességében elmondható, az akkumulátor határozza meg az elektromos autó mindennapi használhatóságát miközben az értéke önmagában kiteszi az autó előállítási ráfordításainak felét. Ez azt is jelenti, hogy amelyik gyártó olyan új akkumulátorral tud jelentkezni, amelynek képességei jelentősen meghaladja a mostaniakét, akár egyeduralkodóvá válhat.

#### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

#### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KOVÁCS, J.: *Kohóipar kémia (Fizikai kémia)*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- [2] NÁRAY – SZABÓ I.: *Kémia*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [3] BERECZ, E.: *Fizikai kémia*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [4] LINDEN, D., REDDY, T.: *Handbook of Batteries 3rd edition*. McGraw-Hill Professional; 2001
- [5] PAVLOV, D.: *Lead e Acid Batteries: Science and Technology. A Handbook of Lead e Acid Battery Technology and Its Influence on the Product. Second Edition*. Elsevier 2017
- [6] ROSA, A.V., ORDÓÑEZ, J.C.: *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Elsevier Academic Press, 2022.
- [7] HEVESY GY.: *Autóvillamosság*. Műszaki Kiadó, Budapest, 2008.
- [8] KORTHAUER, R.: *Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications*. Elsevier 2017
- [9] BRANDELL, B., MINDEMARK, J., HERNÁNDEZ G.: *Polymer-Based Solid-State Batteries*, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston. 2021.

## NAPELEMEK ALKALMAZÁSA A KÖZLEKEDÉSBEN

### APPLICATION OF PHOTOVOLTAICS IN THE TRANSPORT

KOZSELY Gábor<sup>1</sup>, SZABÓ Norbert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., egyetemi adjunktus, gabor.kozsely2@uni-miskolc.hu

<sup>2</sup>mesteroktató, norbert.szabo1@uni-miskolc.hu

<sup>1,2</sup>Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A tanulmány a napelemek alkalmazhatóságát mutatja be az elektromos járművek töltésére szolgáló töltőberendezésekben, valamint autóbuszok tetején. A személyautók töltésére számos napelemmel kombinált töltőállomás áll rendelkezésre, azonban az elektromos buszok a nagyobb töltőteltjesítmény miatt napelemekről történő töltéséhez több száz kW teljesítményű napelemes rendszerre lenne szükség. A napelemek buszok tetőszerkezetén történő elhelyezése kizárólag a 24 voltos segédüzemi rendszerek energiaigényének fedezésére alkalmasak.

**Kulcsszavak:** napelem, elektromos busz, elektromos jármű töltő

**Abstract:** This paper presents the applicability of solar cells in charging systems for charging electric vehicles, as well as on the roof of buses. Many charging stations combined with solar panels are available for charging passenger cars, however, due to the higher charging capacity of electric buses, a solar panel system with a power of several hundred kW would be required. The placement of the solar panels on the roof structure of the buses is only suitable for covering the energy demand of the 24-volt auxiliary operating systems.

**Keywords:** photovoltaic, electric bus, battery capacity, charging electric vehicle charger

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb szerep jut az elektromos járművekre, ami viszont az elektromosjármű-töltőállomások számának és kapacitásának bővítését vonja maga után. Mivel az e-járművek üzemanyaga a villamos energia, ezért a villamosenergia-termelés fokozása szükséges. A hagyományos és a megújuló energiaforrásokat alkalmazó erőművek igen változó üzemi, gazdasági és környezeti hatásokkal rendelkeznek. A fosszilis energiahordozókat alkalmazó erőművek kiszámíthatóbb termeléssel rendelkeznek és stabilan működne, azonban jellemzően magasabb üzemeltetési költségek és nagyobb környezeti hatások jellemzik, mint a megújulókat hasznosító erőművek. A megújuló energiaforrásokat hasznosító eszközök és rendszerek többsége ugyan helyhez kötött, mint például a vízerőmű, szélenergia, de a napelemek lényegében területtől függetlenül alkalmazhatók villamosenergia-termelésre. Ellenben ezen eszközök a legkisebbek az időjárásnak, ezáltal a legkiszámíthatatlanabb erőművek.

A villamosenergia-termeléssel szemben támasztott egyik legfontosabb, ha nem a legfontosabb elvárás a környezetkárosító hatás legalacsonyabb szinten tartása. A jövőben elsősorban azon energiaforrások terjedése várható, amelyek hozzájárulnak a környezetvédelmi célok elérésében, mindamellett, hogy nem veszélyeztetik a villamosenergia rendszer működésének biztonságát. Mivel a villamosenergia tárolása nem egyszerű feladat, így a termelés és a fogyasztás kiegyensúlyozás kiemelten fontos. Ez részben megoldható a nagy kiterjedésű kooperációs villamosenergia rendszerrel. A legcélszerűbb az lenne, ha ott állítanánk elő a villamosenergiát, ahol kell és akkor, amikor szükséges. Ez az elv sokáig a műszaki gyakorlat alapját képezte, azonban a kooperációs villamosenergia rendszer kiépítésével feledésbe merült. Az elektromos járművek azonban újra előtérbe helyezheti ezt az elvet, így célszerű megvizsgálni, hogy a napelemek, mint megújuló energiaforrást alkalmazó energiaátalakító eszközök, hogyan illeszthetők be ebbe az elve és ez a gyakorlatban hogyan kivitelezhető.

## 2. NAEPLEMES ELEKTROMOS JÁRMŰ TÖLTŐK

Kutatásunk során a Wagner Solar nevű cégnél találtunk egy jó és költséghatékony megoldást arra, hogy az autónkat tudjuk a napelemről tölteni. A technológiát a Solar Edge nevű vállalat fejlesztette ki. Ennek a technológiának a lényege abban rejlik, hogy egy olyan kettő az egyben invertert alkalmaznak a napelemes rendszerhez, ami egyben az elektromos jármű töltésére is szolgál, vagyis, ha már a telepítésnél ezt az invertert építettjük be a rendszerünkbe tudva, hogy a napelemes rendszert elektromos autó töltésére fogjuk használni, akkor később nem kell egy külön elektromos autó töltésére alkalmas berendezést kiépíteni. Ezen felül ennek az inverternek a használata nem teszi szükségessé az épület villamos hálózatának bővítését. Ez azért előnyös, mert a legtöbb esetben az otthoni töltő (falitöltő) telepítése hálózatbővítést igényel [1].

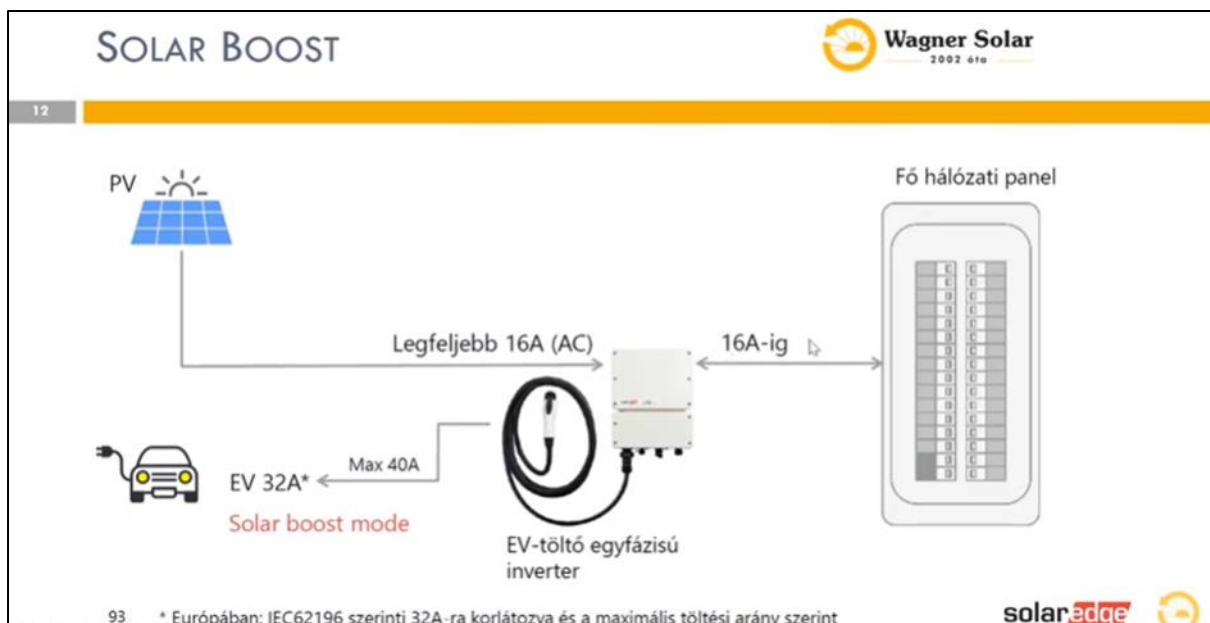
Egy átlag napelemes rendszerről való töltés igazából nem más, mint a konnektorról való töltés. Amikor süt a Nap, a napelemek termelik a villamos energiát, amit vagy közvetlenül az elektromos jármű töltésére használjuk fel, vagy a közcélú villamos hálózatba tápláljuk be. A jelenlegi szaldós elszámolás lehetővé teszi, hogy azt az energiát, amit napközben megtermelünk, éjszaka vissza tudjuk venni a rendszerből lényegében költségmentesen [1].

A Solar Edge inverter az első olyan inverter a világon, amely napelemes inverter és elektromos autó töltő is egyben. Ezzel az eszközzel az energiaátalakítási hatékonyság is növelhető, mivel nincs szükség külön töltő telepítésére, illetve gyorsabb töltés megvalósítására képes, mint a hagyományos Mode2 töltés. Az inverterhez tartozó kábel lehet Type1 és Type2 csatlakozású is. Méretét tekintve lehetnek 3,68 kW, 4 kW vagy 5 kW teljesítményűek, mindez 1 fázison [1].

Az inverter váltakozó áramú oldalát bekötik az otthoni elosztóba, csakúgy, mint egy hagyományos napelemes rendszer esetében. Az egyenáramú, napelemes részt pedig bekötik napelemes rendszerbe és a töltőkábelen keresztül lehet tölteni az autót. Ez az inverter képes egy úgynevezett Solar Boost technológiát alkalmazni, ami lehetővé teszi, hogy az autót akár 2,5-szer gyorsabban tudjuk tölteni, mint a Mode2-es töltésnél. Ezt úgy teszi lehetővé, hogy az inverter összeadja a napelem teljesítményét az otthoni villamos hálózat szabad teljesítményével. Ha nekünk van otthon szabad 16 A egy fázison akkor, ezt a napelemes teljesítménnyel összeadva akár 32 A-rel tölthetjük az autónkat, mindezt teljesítmény bővítés nélkül. A napelemes oldal annyi energiát fog biztosítani amennyit éppen termel, de maximum 16 A nagyságú áramot. Ez az akár 32 A-es töltés a Mode3 töltési kategóriába sorolandó. A Solar Edge inverterhez tartozik egy monitoring platform, ami mutatja, hogy mennyi volt az az energia, amit a napelemről közvetlenül az autó akkumulátorába töltöttünk és mennyit vételeztünk a hálózatról a töltés során (1. ábra) [1].

Az előbb említett rendszer egy otthoni napelemes rendszerről való töltésre volt példa, de találtunk olyan megoldást is, amikor egy napelemes töltőállomást használhatunk az autó töltésére. Ezekhez a töltőállomásokhoz nincs szükség elektromos hálózatra, 100% a Nap energiáját használják fel. A napelem által megtermelt energia akkumulátorokban van tárolva pont, mint a szigetüzemű napelemes rendszereknél, így lehetővé téve az éjszakai töltést is. Ezek a rendszerek nem túl bonyolult felépítésűek. A legfontosabb elem természetesen a napelem, ami a szerkezet tetején helyezkedik el, hogy a lehető legnagyobb felületen tudja érni a napsütés. A napelem alatt egy napkövető hidraulika helyezkedik el, ami a lehetővé teszi, hogy a napelemet mindig a lehető legkedvezőbb szögben érje a fény, így maximalizálva a hatásfokot. Ezt a technológiát egy Envision Solar nevű vállalat fejlesztette ki és állításuk szerint 1760 km megtételéhez elegendő energiát képes termelni a töltőállomás, igaz azt, hogy ez milyen típusú autó esetében értendő ez a szám nem tisztázták (2. ábra) [1].

Az elektromos buszok nyilvánvalóan nagyobb töltési igénnyel rendelkeznek, mint a személyjárművek, ezért azok nagyobb kockázatot jelentenek a villamos hálózatra. A 3. ábra szemléltet egy (végállomásra) telepíthető elektromos busz töltő rendszert.



**1. ábra:** Solar Boost üzemmód.



**2. ábra:** Envision Solar napelemes töltőállomás.

A napelemek buszon történő alkalmazhatóságának vizsgálatát azért szükséges elvégezni, mert a buszok másodlagos működtető rendszerei 24 V egyenfeszültségű akkumulátorokról kerülnek ellátásra, így azok töltéséről folyamatosan gondoskodni kell. Míg a belső égésű motoros járműveken az akkumulátorok töltését egy a belső égésű motor által közvetlenül hajtott generátor oldja meg, elektromos meghajtású járműveknél erre nincs lehetőség. A 24 voltos akkumulátorok töltését célszerűen a hajtáshoz használt 400-700 voltos akkumulátor telepről lecsatlakoztatott töltő berendezéssel oldható meg. Azonban a vészenergia-ellátó rendszert célszerű alternatív táplálással is ellátni.

A szóló buszok méretéből kiindulva és a tetőszerkezeten elhelyezett klímarendszert figyelembe véve 6 db sztenderd méretű panel helyezhető fel, amelyek összteljesítménye 1,8-2 kW és a 24 voltos rendszert közvetlenül képes lenne ellátni, azon akkumulátorokat tölteni. Egy ilyen napelemes rendszer egy átlagos nyári napon várhatóan 6,7-7 kWh villamosenergiát lenne képes



előállítani. A tavaszi és az őszi évszakban átlagosan napi 4-4,2 kWh villamosenergia-termeléssel rendelkezne. Ennyi energiamennyiség a busz mozgatására nem alkalmas, azonban a 24 voltos rendszer működtethető róla. A 4. ábra napelemekkel felszerelt buszokat szemléltet.



*3. ábra: Elektromos busz töltőállomás.*



*4. ábra: Napelemekkel szerelt buszok.*

### **3. NAPELEMEK OKOZTA TÖLTÉSI PROBLÉMÁK**

Elektromos járműveknél kiemelten fontos a töltő áram tartása és a töltőfeszültség növelése az akkumulátorok töltöttségi állapotának megfelelően. Ezen paraméterek biztosítása nélkül a töltési idő megnövekedhet és a töltésre igényelt energiamennyiség is kevesebb lehet. Erősen változó időjárási körülmények között a napelemek által szolgáltatott áramerősség és feszültség

dinamikusan változhat. Köztudott, hogy a napelemek olyan berendezések, amelyek a napenergiából közvetlenül villamosenergiát képesek előállítani. Működésük alapja a fényelektromos hatás. A fény intenzitásának változása a napelemek által generált áramerősséget befolyásolja. A kapcsolatok mérhető feszültséget egyrészt a környezet- és a napelemek felületének hőmérséklete, másrészt pedig a napelemre kapcsolt fogyasztó ellenállása határozza meg [2].

Az elektromos járművek töltésükre akár több száz amperes áramerősséget is igényelhetnek. Az átfolyó áramok melegítő hatást eredményeznek nem csak a töltőkábelben, hanem a napelemeken is. Ez tovább ronthatja a napelemek működési tulajdonságait, amely következtében az elektromos jármű töltése akár teljes egészében elmaradhat. A töltés részleges fenntartása megfelelő teljesítmény-elektronikai átalakító eszközök alkalmazását teszi szükségessé. Ezen konverterek alkalmasak a dinamikusan változó feszültség stabilizálására, ezáltal a töltési paramétereket folyamatosan korrigálva, a töltés folytonosságát fenntartani [3, 4].

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatómunka során annak lehetőségét tanulmányoztuk, hogy a napelemek alkalmazhatók-e akár az elektromos töltőállomásokon, akár a buszok tetőszerkezetére helyezve villamosenergia termelésére. Összességében azt a következtetést lehet levonni, hogy a személyautóknál a napelemes töltők a viszonylagos kis területigényük miatt alkalmazhatók lehetnek, azonban az elektromos buszok lényegesen nagyobb töltési teljesítményt igényelnek, így csak korlátozottan alkalmazható napelemes töltők. A buszok tetején elhelyezett napelemek a számítások alapján maximum a 24 voltos segédüzemi rendszerek energiaigényének fedezését tudják megoldani.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

#### 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Webinárium: - Elektromos auto töltés otthon, napelemmel | WAGNER SOLAR; [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=POFVF-UQFW8](https://www.youtube.com/watch?v=POFVF-UQFW8) (Letöltés dátuma: 2021.04.13.)
- [2] BODNÁR, I.: *Transient electrical characteristics of a solar cell in the case of a cooling and noncooling solar cell*. Annals of Faculty of Engineering Hunedoara. Vol. 15. Nr. 4. 2017. pp. 175-178.
- [3] DALAL, J., CHANDWANI, H., BHAGWAT, T., KARVANDE, M., SHAIKH, M. S.: *Implementation of Universal Solar Charger for EV applications using a Cascaded Buck-Boost Converter*. 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Maharashtra, India, 2021, pp. 1-6.
- [4] BOROS, R. R., BODNÁR, I.: *LLC Resonant Converter Design and Simulation for PV Motor Drives*. 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC 2021. IEEE 2021. pp. 1-5. Paper: 9454640.

# ELEKTROMOS HAJTÁSLÁNCCAL FELSZERELT AUTÓBUSZ GYORSÍTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES ENERGIA KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSA

## ESTIMATION OF ENERGY REQUIRED FOR ACCELERATION OF A BUS WITH ELECTRIC DRIVETRAIN

**LENGYEL Ákos József**

PhD, adjunktus, akos.lengyel@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Műszaki Mechanikai Intézet

**Kivonat:** Jelen tanulmányban egy elektromos meghajtásúvá átalakítandó városi szóló autóbust vizsgálunk. Egy az elektromos autóbuszgyártók által gyakran alkalmazott villanymotor paramétereit felhasználva becslést adunk arra vonatkozóan, hogy mekkora energiaszükséglete van az átalakítandó üres autóbuszhoz ahhoz, hogy álló helyzetből maximális sebességre gyorsuljon. A számításokhoz a motor névleges nyomaték és teljesítménygörbéit használtuk fel. A felírt számítási eljárás alkalmazható különböző utasterheléssel közlekedő jármű esetén, vagy más paraméterekkel rendelkező villanymotor használatakor is.

**Kulcsszavak:** elektromos meghajtás, városi autóbusz, teljesítmény görbe, energiafogyasztás

**Abstract:** In this study a bus to be converted to electric drive is investigated. Application of the parameters of an often-used electric motor by electric bus manufacturers an estimation is provided for the energy consumption of the bus when it is accelerated from zero to its top speed. The nominal torque and power curves of the electric motor are used for the computations. The described method can be applicable for buses with several passenger loads or with other electric motors having different parameters.

**Keywords:** electric drivetrain, bus, power curve, energy consumption

## 1. BEVEZETÉS

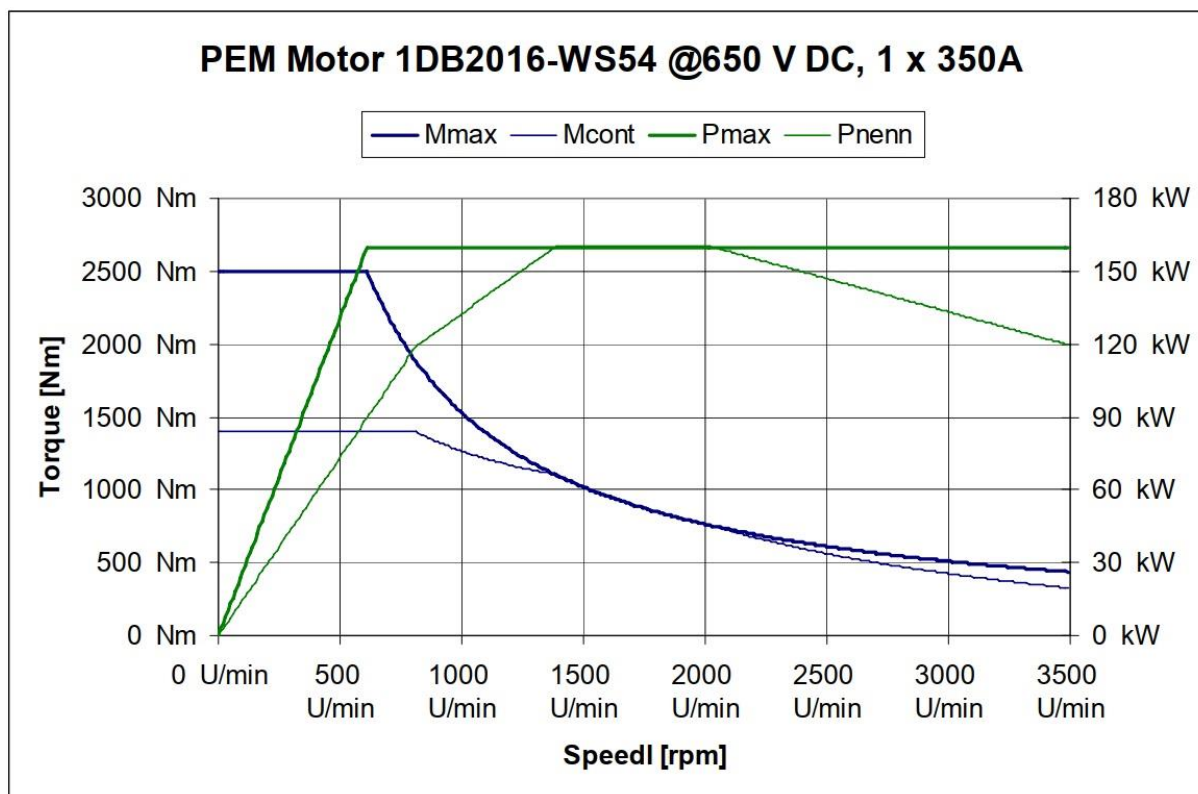
Jelen tanulmányban vizsgálatunk alapját egy Volvo 7700 CNG típusú 12 m-es városi szóló autóbusz képezi, melyet egy projekt keretében (lásd a köszönetnyilvánítást a tanulmány végén) át kell alakítani. Az autóbust eredetileg CNG üzemanyaggal működő belsőégésű motor hajtotta 6 fokozatú automata sebességváltón keresztül. Az átalakítás lényege, hogy a jármű eredeti hajtásláncát teljesen elektromosra kell kicserélni. Az átalakítást megrendelő tömegközlekedési vállalat előírta, hogy a jármű maximális gyorsulása  $2 \text{ m/s}^2$  lehet, illetve a jármű 20 %-os emelkedőn képes legyen a  $35 \text{ km/h}$  sebesség tartására. A két feltétel korábbi számítási eredmények alapján ellentmondásos eredményre vezettek, nagyobb hajtónyomatéokra van szükség az emelkedőn történő haladáshoz, mint a maximális gyorsulás eléréséhez. A tanulmány megjelenéséig nem kaptunk eltérő feltételeket a megrendelő közlekedési vállalattól, ezért a szigorúbb gyorsulási feltételeknek eleget tevő alacsonyabb nyomatékot vettük alapul. Így a korábbi eredmények alapján a hátsó tengelyt hajtó nyomaték maximális értékét  $12000 \text{ Nm}$ -re választjuk.

Mivel a tanulmány megjelenésének időpontjáig nem került kiválasztásra konkrét beépítendő villanymotor (vagy lehetséges jelöltek), ezért választottunk egy az autóbuzsziparban használatos villanymotort, melynek paramétereit elérhetőek voltak [1], ezt felhasználva pedig felírtuk azt a számítási eljárást, mely segítségével számítható a gyorsítás során igényelt energia

## 2. A KIVÁLASZTOTT MOTOR ÉS JELLEMZŐI

Az elektromos járművek meghajtására többféle villanymotort használ a járműipar. Az egyik leggyakrabban használt villanymotor, melyet 10-12 m-es városi szóló autóbuszokba építenek, a Siemens 1DB2016 jelű szinkron motor (ilyen motor hajtja a következő autóbuszokat: Higer

KLQ6125GEV, VDL Citea SLF-120 Electric, MenariniBus Citymood 12e, Irizar ie bus stb.). Ennek paraméterei közül [1] a vizsgálatunk szempontjából a teljesítmény és nyomaték görbe érdekes, melyet az 1. ábra szemléltet:



1. ábra: A számításhoz használt Siemens 1DB2016 jelű motor teljesítmény- és nyomatékgörbéje a motor fordulatszámának függvényében [1].

A számításainkhoz a motor névleges teljesítmény- és nyomatékgörbéjét vettük alapul, melyek az 1. ábrán a vékony vonallal jelzett függvények. A teljesítménygörbe tulajdonképpen 4 lineáris szakasszal közelíthető, melyet a Maple szoftverrel reprodukáltunk. Az első lineáris szakasz az 1. ábra alapján 0-ról indul és körülbelül 800 fordulat/perces fordulatszámánál 120 kW teljesítményt ér el, itt található az első töréspont, innen a teljesítmény 160 kW-ig emelkedik, ekkor a motor fordulatszáma percenként 1400. Innen a motor konstans 160 kW teljesítményt ad le körülbelül 2000-es percenkénti fordulatszámig, majd a fordulatszám további növekedésével 3500-as fordulat/percig a teljesítmény fokozatosan csökken 120 kW-ig. Ezen pontokat felhasználva felírhatóak az egyes lineáris szakaszok függvényei. Mivel a teljesítmény ( $P$ ) a nyomaték ( $M$ ) és a tengely szögsebességének ( $\omega$ ) szorzata, azaz

$$P = M\omega, \quad (1)$$

ezért az alábbi összefüggéssel meghatároztuk a motor tengelyének szögsebességét

$$\omega = \frac{2\pi}{60}n, \quad (2)$$

ahol  $n$  a motor fordulatszáma. Így a teljesítménygörbén látható töréspontok tehát  $\omega_1 = 83,776 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ,  $\omega_2 = 146,608 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ , illetve  $\omega_3 = 209,44 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ -nál vannak, a maximális 3500-as per-  
cenkénti fordulatszámnak pedig  $\omega_4 = 366,52 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  felel meg. Így a szögsebesség függvényében felírható a teljesítmény, mely 4 lineáris szakaszból áll (a teljesítményt W-ban adtuk meg):

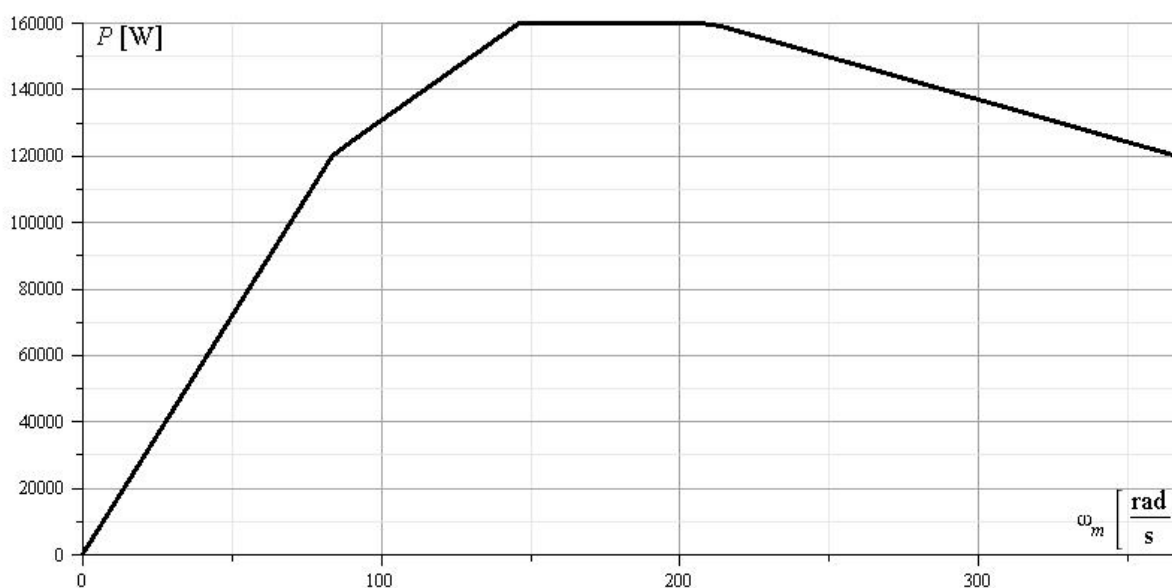
$$P_1(\omega_m) = 1432,391\omega_m, \quad (3.)$$

$$P_2(\omega_m) = 636,618\omega_m + 66666,67, \quad (4.)$$

$$P_3(\omega_m) = 160000, \quad (5.)$$

$$P_4(\omega_m) = -254,648\omega_m + 213333,447, \quad (6.)$$

ahol  $\omega_m$  a motor tengelyének szögsebessége. A fenti 4 függvény segítségével felépíthető a motor teljesítménygörbéje, melyet a 2. ábra mutat.

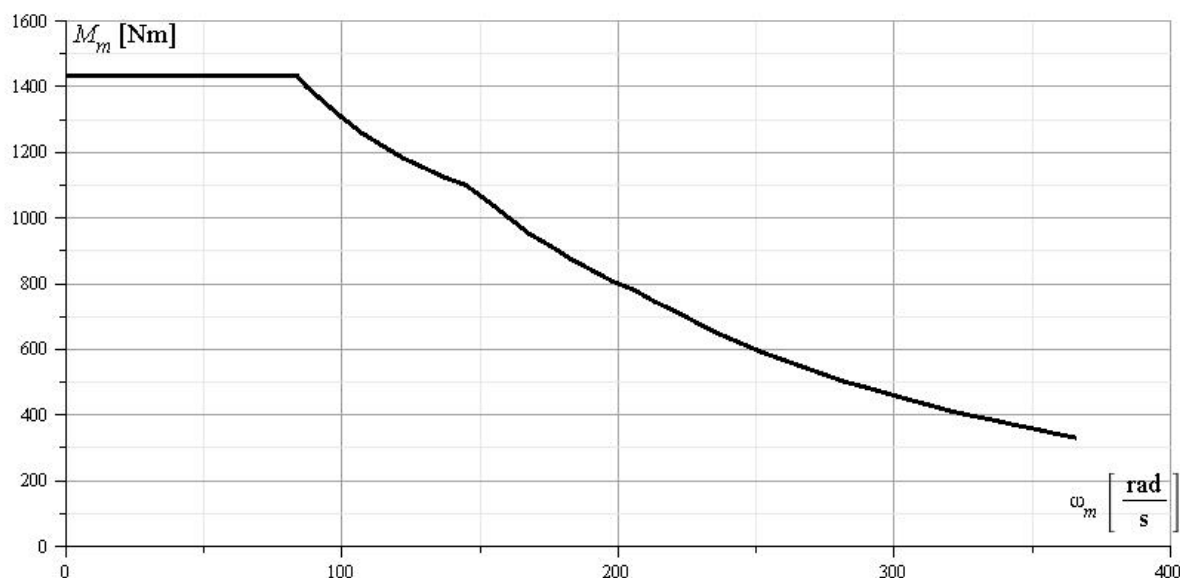


**2. ábra:** A motor teljesítménygörbéje a Maple-ben a motor szögsebességének függvényében.

Az (1) egyenlet átrendezésével kapjuk, hogy a motor által leadott nyomaték

$$M_m = \frac{P}{\omega_m}, \quad (7.)$$

vagyis a 2. ábrán látható teljesítményfüggvényt elosztva a motor szögsebességével előállítható a motor nyomatékgörbéje is a motor szögsebességének függvényében, melyet a 3. ábra mutat.



3. ábra: A motor nyomatékgörbéje a motor szögsebességének függvényében.

Összevetve a 3. ábrát a gyártó által megadott 1. ábrán látható névleges nyomatékgörbével, jó közelítéssel ugyanazt a függvényt kaptuk meg.

### 3. AZ ÜRES JÁRMŰ FELGYORSÍTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES ENERGIA

Az üres autóbusz felgyorsításához szükséges energia, vagyis a jármű mozgási energiájának megváltoztatásához szükséges  $W$  munka a hajtott tengelyen fellépő nyomaték teljesítményének idő szerinti integrálja [2]:

$$W = \int_{t_0}^{t_{max}} P dt. \quad (8.)$$

Vizsgálatunk során egy teljes gyorsítási folyamatot vettünk alapul, vagyis amikor a jármű álló helyzetből elindulva megszakítás nélkül felgyorsul a maximális sebességére oly módon, hogy a motor ezalatt végig a névleges teljesítményét adja le. A  $t_0$  időpillanat az indulást, a  $t_{max}$  időpillanat a csúcsebesség elérését jelenti. A motor és a tengely közötti hajtómű veszteségeit elhanyagoljuk, feltesszük tehát, hogy a motor teljesítménye veszteségek nélkül megjelenik a tengelyen is, tehát [2]

$$P = P_m = M_m \omega_m = P_t = M_t \omega_t, \quad (9.)$$

ahol  $P$  fogja a továbbiakban jelölni mind a motor, mind a tengelyen fellépő teljesítményt,  $\omega_t$  az autóbusz hátsó hajtott tengelyének szögsebessége,  $M_t$  pedig ugyanezen tengelyen fellépő meghajtó nyomaték. Tehát a munkához ismernünk kell a teljesítményt az idő függvényében. A motor és a tengely közé egy lassító áttételű egyfokozatú hajtóművet tételezünk fel, ez a lassító áttétel legyen  $i = 8$ . (Ez az áttétel létrejöhet például egy lassító fokozat és a differenciálmű áttételeinek szorzatából.) Ezzel az áttétellel számolva a tengely szögsebessége tehát nyolcada a motor szögsebességének. Vagyis a motor maximális szögsebessége esetén a tengely maximális szögsebessége:

$$\omega_t^{\max} = \frac{\omega_m}{i} = 48,815 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \quad (10.)$$



amelyet megszorozva a kerék sugarával megkapjuk a jármű maximális sebességét (a kerék gördülő korongként viselkedik, melynek súlypontja haladó mozgást végez természetesen azonos sebességgel, mint az autóbusz súlypontja, ennek sebessége pedig  $v = R\omega$  képlettel számítható):

$$v_{\max} = R\omega_t^{\max} = 23,431 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 84,352 \frac{\text{km}}{\text{h}}. \quad (11.)$$

Látható, hogy így a jármű a városi forgalomban és a várost elhagyva országúti közlekedésre is alkalmas, a hatályos jogszabályok alapján az autóbusz lakott területen belül maximum 50 km/h, lakott területen kívül országúton pedig maximum 70 km/h sebességgel haladhat, így egyetlen áttétellel direkt hajtással képes a jármű a számára megengedett, illetve a tőle elvárt teljes sebességtartományt lefedni.

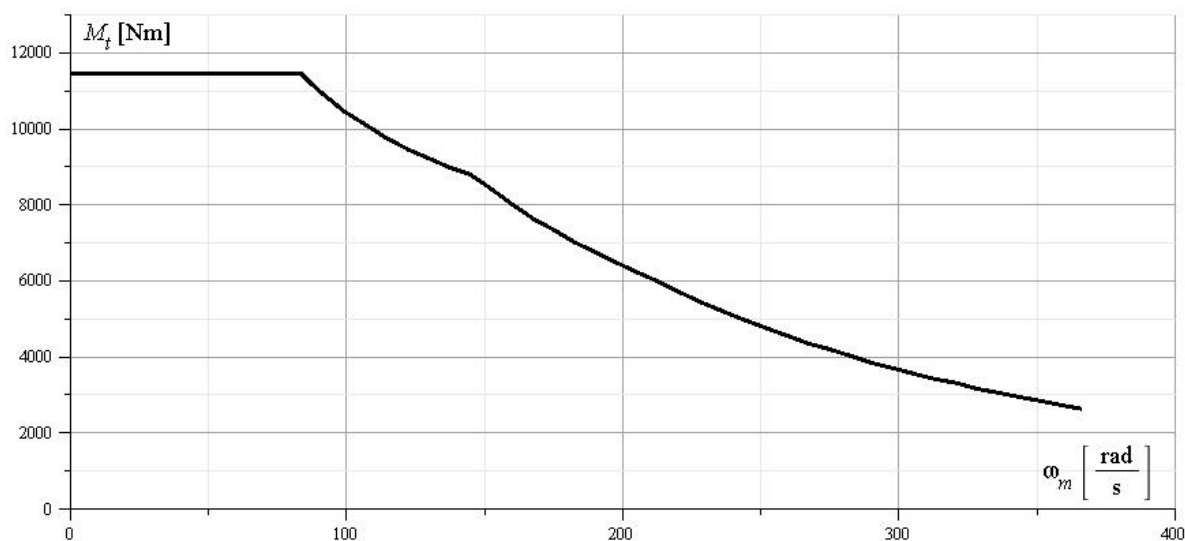
A (9.) összefüggésbe beírva a tengely és a motor szögsebessége közötti alábbi kapcsolatot (melyet a (10.) képletben is felhasználtunk)

$$\omega_t = \frac{\omega_m}{i}, \quad (12.)$$

kapjuk a motor és a tengelyen levehető nyomaték közötti kapcsolatot

$$iM_m = M_t. \quad (13.)$$

Így alkalmazva a motor 3. ábrán látható nyomatékgörbéjére a (13.) összefüggést elő tudjuk állítani a tengelyen levehető nyomaték függvényét a motor szögsebességének függvényében. Ezt mutatja a 4. ábra.

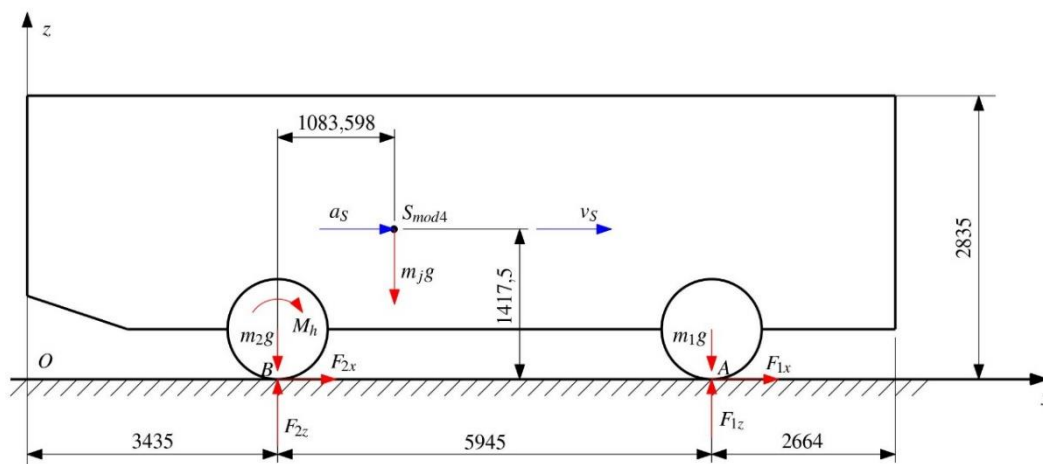


4. ábra: A meghajtott tengelyen levehető nyomaték a motor szögsebességének függvényében.

A 3. ábrán látható, hogy a motor a névleges csúcsnyomatékát az első szakaszon konstans leadja, ez körülbelül 1432,391 Nm, ennek az áttétellel felszorozott értéke, mely így a tengelyen levehető csúcsnyomaték (4. ábra) 11460 Nm, mely az általunk kitűzött 12000 Nm-es maximális hajtónyomatékot nem haladja így meg.



A dinamika alaptételei közül a teljesítménytétel [2] használjuk fel a hajtónyomaték és a gyorsulás közötti kapcsolat felírására. Azt az esetet használjuk, amikor eltekintünk az ellenlásoktól [3] és vízszintes úton gyorsul a jármű. Az autóbusz modelljét a rá ható erőkkel és nyomatékokkal az 5. ábra mutatja.



5. ábra: Az átalakított járműre ható összes erő és nyomaték szemléltetése.

A járművet most is összetett szerkezetként modellezzük, melyben az első tengelyre szerelt két kerék alkot egy szerkezeti elemet, a hátsó tengelyre szerelt 4 kerék szintén egy önálló elem (ezek a forgó részek), az autóbusz többi része pedig a kerekek tömegével csökkentett tömegű, csak haladó mozgást végző test (5. ábra). A teljesítménytétel a következő alakban írható fel:

$$\frac{dE}{dt} = P. \quad (14.)$$

Ez a képlet azt fejezi ki, hogy a mozgó rendszer teljes mozgási energiájának (a (14.) képletben  $E$  jelöli) idő szerinti első deriváltja megegyezik a rendszerre ható összes erő és nyomaték összteljesítményével (az (14.) képletben  $P$  jelöli). Merev testek esetében a mozgási energia számítása a következő formulával történik [2]:

$$E = \frac{1}{2} m v_S^2 + \frac{1}{2} J_S \omega^2, \quad (15.)$$

ahol  $m$  a test tömege,  $v_S$  a mozgó test súlypontjának sebessége,  $J_S$  a súlyponton átmenő, a test forgástengelyével párhuzamos tengelyre számított tehetetlenségi nyomaték,  $\omega$  pedig a test szögsebessége. Egy összetett szerkezet teljes mozgási energiáját úgy kapjuk, hogy kiszámítjuk az egyes testek mozgási energiáját és ezeket egyszerűen összegezzük. A mi esetünkben a járművet 3 merev testre bontottuk, tehát ezek mozgási energiáinak összege lesz a jármű teljes mozgási energiája, melyet az alábbi alakban tudunk felírni [2]

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = \frac{1}{2} J_a \omega_{1t}^2 + \frac{1}{2} J_b \omega_{2t}^2 + \frac{1}{2} m_j v_S^2. \quad (16.)$$

Itt  $J_a$  az első kerekek tehetetlenségi nyomatéka az  $A$  ponton átmenő forgástengelyre,  $J_b$  a hátsó kerekek tehetetlenségi nyomatéka az  $B$  ponton átmenő forgástengelyre,  $v_S$  a mozgó test súlypontjának sebessége,  $\omega_{1t} = \omega_{2t}$  az első és hátsó kerekek szögsebessége, melyek az azonos átmérőjű kerekek miatt megegyeznek.

Első lépésként számítsuk ki a kerekek tehetetlenségi nyomatékait. Ehhez az átalakítandó járműről rendelkezésre álló adatokból ismerjük a gumiabroncsok és a felnik méretét. Mind a 6

kerék gumibroncs és felni mérete azonos. A jármű 275/70 R22,5 méretű gumibroncsokkal szerelt, a felnik pedig 7,5 x 22,5 méretűek. A különböző gyártók azonos méretjelölésű terheletlen gumibroncsait összehasonlítva azok átmérője nem teljesen azonos, átlagosan 960 mm, ezt fogjuk felhasználni. A számításokhoz nekünk a kerekek sugaraire lesz szükségünk m dimenzióban, tehát

$$r_1 = r_2 = 0,48 \text{ m.} \quad (17.)$$

A gyártók adatait összevetve az abroncsok átlagos tömege 52 kg körüli érték, a felnigyártók adatai alapján pedig egy 7,5x22,5 felni átlagos tömege 35 kg. Így tehát egy kerék teljes tömege 87 kg. Az első tengelyre két kerék, a hátsóra pedig négy darab van felszerelve, ezeket helyettesítjük egy-egy koronggal. A korongok tömege tehát:

$$m_1 = 2 \cdot 87 = 174 \text{ kg, } m_2 = 4 \cdot 87 = 348 \text{ kg.} \quad (18.)$$

A szakirodalom alapján a kerekek saját súlypontjára számított tehetetlenségi nyomatékát a következő közelítő képlettel számíthatjuk:

$$J_s = 0,8mr^2, \quad (19.)$$

ahol  $m$  a kerék tömege,  $r$  a kerék sugara. Ha ugyanazon forgástengely körül több azonos méretű kerék is forog, akkor a teljes tehetetlenségi nyomaték a kerekek tehetetlenségi nyomatékainak az összege. A Steiner-tétel [2] segítségével ezt át tudjuk számítani a póluspontokon átmenő tényleges forgástengelyekre

$$J_a = 0,8m_1r_1^2 + m_1r_1^2 = 1,8m_1r_1^2 = 72,161 \text{ kgm}^2, \quad (20.)$$

$$J_b = 0,8m_2r_2^2 + m_2r_2^2 = 1,8m_2r_2^2 = 144,323 \text{ kgm}^2. \quad (21.)$$

A jármű átalakítás utáni üres össztömegére figyelembe véve a kiserelt egységek tömegét és a szóba jöhető beszerelendő alkatrészek tömegét a következő becslést használjuk  $m = 12719,3 \text{ kg}$ . Ebből levonjuk a 6 kerék tömegét, így kapjuk meg a csak haladó mozgást végző rész tömegét:

$$m_j = 12719,3 - 6 \cdot 87 = 12197,3 \text{ kg.} \quad (22.)$$

A tömegek és a tehetetlenségi nyomaték időben állandó értékek, az időtől csak a súlypontok sebessége és a szögsebességek függenek. Kihhasználva, hogy  $\omega_{1t} = \omega_{2t} = \frac{v_S}{r_1}$ , kapjuk a mozgási energiára:

$$E = \frac{1}{2}J_a \frac{v_S^2}{r_1^2} + \frac{1}{2}J_b \frac{v_S^2}{r_1^2} + \frac{1}{2}m_j v_S^2 = \frac{1}{2}v_S^2 \left( \frac{J_a+J_b}{r_1^2} + m_j \right) = \frac{1}{2}m_{red}v_S^2. \quad (23.)$$

A (23.) egyenletben a zárójelben minden mennyiség valamilyen tehetetlenségi jellemző, ezek mind állandó értéket képviselnek. Ezt szokás helyettesíteni az ún. redukált tömeggel ( $m_{red}$ ). Így tehát a teljes mozgási energia időtől való függése kizárólag a  $v_S$  sebesség időtől való függésén keresztül jelenik meg, minden más mennyiség állandó. A kiszámított adatok alapján:

$$m_{red} = \frac{J_a+J_b}{r_1^2} + m_j = 13136,9 \text{ kg.} \quad (24.)$$

Most képezzük a teljesítménytétel megoldásához a (23.) mozgási energia idő szerinti első deriváltját

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} m_{red} v_S^2 \right) = m_{red} a_S v_S = 13136,9 a_S v_S. \quad (25.)$$

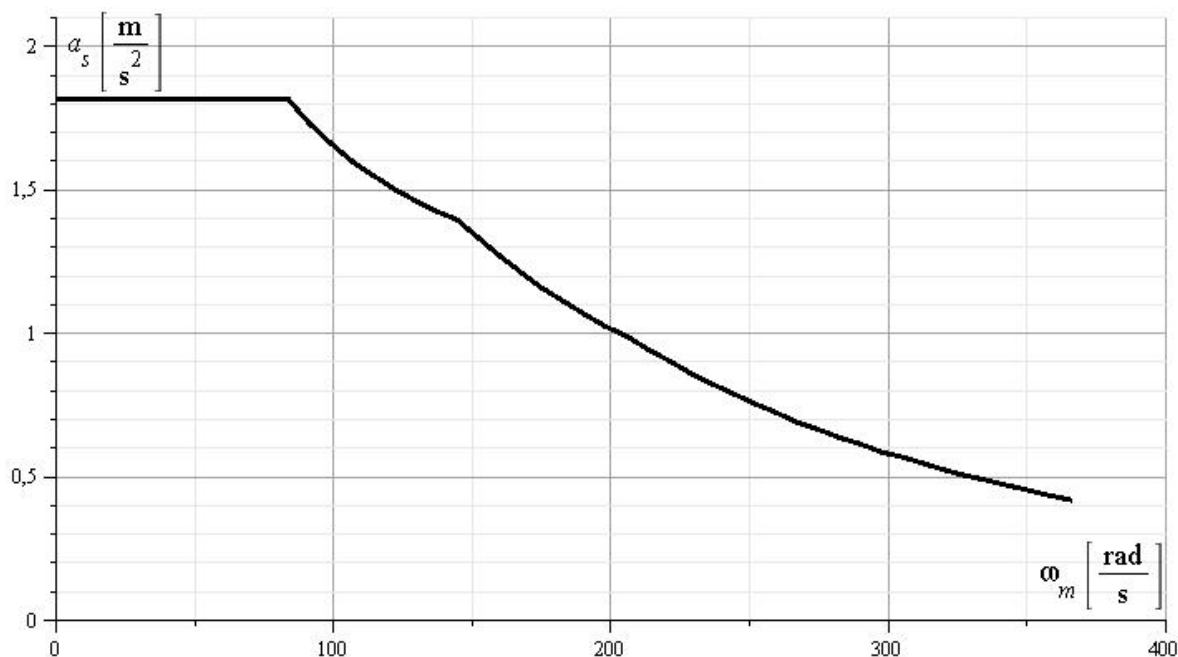
Az 5. ábrán látható terhelések teljesítményét figyelembe véve megállapítható, hogy csak a hátsó tengelyt hajtó nyomatéknak van teljesítménye, amit a (9.) képlet mutat. A teljesítménytétel értelmében így a (25.) egyenlő a (9.) összefüggéssel. Behelyettesítve a (9.)-be, hogy  $\omega_t = \frac{v_S}{r_1}$ , rendezve a teljesítménytételt kapjuk

$$m_{red} r_1 a_s(\omega_m) = M_t(\omega_m), \quad (26.)$$

ahol  $M_t(\omega_m)$  a 4. ábrán látható tengelyen levehető nyomaték a motor szögsebességének függvényében,  $a_s(\omega_m)$  a jármű súlypontjának gyorsulása (mely tulajdonképpen maga a jármű gyorsulása is) szintén a motor szögsebességének függvényében. A (26.) összefüggést átrendezve kapjuk a jármű gyorsulását a motor szögsebességének függvényében

$$a_s(\omega_m) = \frac{M_t(\omega_m)}{m_{red} r_1}, \quad (27.)$$

melyet a 6. ábrán szemléltettünk.



6. ábra: A jármű gyorsulása a motor szögsebességének függvényében.

Jól látható a 6. ábra alapján, hogy a jármű maximális gyorsulását indulásnál éri el, és amíg a nyomaték konstans, addig ez a gyorsulás is konstans fennáll. A gyorsulás maximális értéke  $a_s^{\max} = 1,817 \frac{m}{s^2}$ , mely nem haladja meg a megrendelő által előírt maximális gyorsulást.

A gyorsítási folyamat időszükségletét a 6. ábrán látható gyorsulás függvény határozza meg, amelyben tulajdonképpen a motor szögsebessége függ az időtől. Gördülő korong esetében igaz, hogy a korong súlypontjának, vagyis a tengelynek a gyorsulása kapcsolatba hozható a tengely szöggyorsulásával ( $\varepsilon_t$ ) [2]

$$a_s = r_1 \varepsilon_t = r_1 \frac{d\omega_t}{dt} = \frac{r_1}{i} \frac{d\omega_m}{dt}. \quad (28.)$$

Ezt az összefüggést visszaírva a (26.) összefüggésbe, kifejezve a tengelyen levehető értéket a motor értékeivel, illetve a motor szögsebességével kapjuk az alábbi differenciál-egyenletet:

$$m_{red} r_1 \frac{r_1}{i} \frac{d\omega_m}{dt} = M_t(\omega_m) = \frac{P}{\omega_t} = \frac{iP}{\omega_m}. \quad (29.)$$

Ezt a differenciál-egyenletet megoldva kapjuk a motor szögsebességét az idő függvényében. Mivel a motor teljesítménygörbéje 4 szakaszból áll, ezért a (29.) differenciál egyenletet külön-külön kell megoldani a 4 szakaszra, ezzel 4 szögsebesség-idő függvényt tudunk előállítani. Ezen függvényeket bonyolultságuk miatt itt nem közöljük, a Maple szoftver segítségével előállítottuk. Ezen függvények segítségével meg tudtuk határozni, hogy mely időpillanatokban éri el a motor fordulatszáma a teljesítménygörbe töréspontjait (2. ábra), és így szakaszonként integrálva a teljesítménygörbét az idő szerint meg tudtuk határozni az adott szakaszon a gyorsítások energiaszükségletét.

Tehát az időpillanatok, melyek között kell integrálnunk a teljesítményt, a következők. A  $t_0 = 0$  időpillanat jelöli a jármű indulásának pillanatát, ekkor sebessége még 0, de gyorsulása már a 6. ábrán látható maximális érték. Az első konstans gyorsulással rendelkező szakasz a motor  $n_1 = 800 \frac{1}{\text{min}}$  fordulatszámaig, azaz  $\omega_1 = 83,776 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  szögsebesség eléréséig tart. Ezt a szögsebességet  $t_1 = 2,766$  s után éri el a motor, ekkor pedig a jármű sebessége  $v_1 = 5,327 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19,176 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . A következő töréspont  $n_2 = 1400 \frac{1}{\text{min}}$  motorfordulatszámmal, azaz  $\omega_2 = 146,608 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  szögsebességnél található. Ezt a motor  $t_2 = 5,196$  s-nál éri el, ekkor a jármű sebessége  $v_2 = 8,796 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 31,667 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . A következő töréspontot  $n_3 = 2000 \frac{1}{\text{min}}$  fordulatszámmal, azaz  $\omega_3 = 209,44 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  szögsebességnél éri el a motor. Az ehhez tartozó időpillanat  $t_3 = 8,502$  s, amikor is a jármű már  $v_3 = 12,567 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 45,239 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ -val halad. Végül a teljes gyorsítási folyamat vége, amikor a motor eléri a maximális  $n_4 = 3500 \frac{1}{\text{min}}$  fordulatszámot, azaz  $\omega_4 = 366,52 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  szögsebességet, melyhez a  $t_4 = 24,089$  s időpillanat tartozik, ekkor éri el a jármű is a maximális sebességét (11.),  $v_{\text{max}} = 23,431 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 84,352 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

Az időpillanatok alapján most már tudjuk szakaszonként integrálni a teljesítményfüggvényeket, melyekkel meghatározható a gyorsítási folyamat energiaszükséglete

$$W_1 = \int_{t_0=0}^{t_1=2,766} P_1 dt = 165917,353 \text{ Ws} = 0,046088 \text{ kWh}, \quad (30.)$$

$$W_2 = \int_{t_1=2,766}^{t_2=5,196} P_2 dt = 342350,146 \text{ Ws} = 0,095097 \text{ kWh}, \quad (31.)$$

$$W_3 = \int_{t_2=5,196}^{t_3=8,502} P_3 dt = 528960 \text{ Ws} = 0,146933 \text{ kWh}, \quad (32.)$$

$$W_4 = \int_{t_3=8,502}^{t_4=24,089} P_1 dt = 2139318,732 \text{ Ws} = 0,594255 \text{ kWh}. \quad (33.)$$

A teljes gyorsítási folyamat energiaszükséglete a fenti munkák összege

$$W = 0,882373 \text{ kWh}. \quad (34.)$$

Itt jegyezzük meg, hogy a motor paramétereinek alapján átmenetileg képes magasabb csúcnyomaték leadására is, mint amit a számításaink során figyelembe vettünk. A fent leírt számítási eljárás alkalmas ebben az esetben is a gyorsítási folyamat energiaszükségletének meghatározására, illetve annak meghatározására, hogy a megrendelő által előírt meredekségű emelkedőn a jármű elérni és tartani tudja-e a kívánt sebességet. A számítások során csak a jármű üres tömegét vettük figyelembe, meg kell vizsgálni ugyanezen energiaszükséglet értékét akkor is, amikor a jármű teljes terheléssel közlekedik. A fenti modell természetesen erre is alkalmas.

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Meghatároztuk az átalakítandó jármű álló helyzetből maximális sebességre történő felgyorsításhoz szükséges energiamennyiség becsült értékét. Számításainkhoz nem a beépítendő motor adatait használtuk, mivel egyelőre még nincs pontosítva, mely gyártó milyen motorja kerül beépítésre. Így választottunk egy az iparban már bizonyított, gyakran alkalmazott motort, és ennek paramétereivel felírtuk az energiaszükséglet meghatározásához szükséges modellt. Hasonló módon bármilyen egyéb villanymotor esetében is számítható a gyorsítási folyamat energia fogyasztása. A modellben a jármű össztömege is megjelenik, így az össztömeg változásának hatása is nyomon követhető a modellben. Ha a fentiekhez hasonló paraméterekkel rendelkező motor lesz kiválasztva az átalakításhoz, akkor direkt hajtással elegendő a motor teljesítményét a kerekekhez juttatni, a járműtől elvárt sebességtartományra képes lesz a jármű. A motor szabályozott átmeneti túlterhelésével pedig elérhető, hogy emelkedőn is képes legyen az előírt gyorsulásra, illetve sebesség tartására. A fenti modellel ennek energiaszükséglete is meghatározható.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

#### 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <https://silo.tips/download/drive-motor-1pv5135-4ws18> (Megtekintés dátuma: 2023.05.09.)
- [2] KIRÁLY, B.: *Dinamika*, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2006.
- [3] JAZAR, R. N.: *Vehicle Dynamics – Theory and Application*, Springer, New York, 2014.

# ELEKTROMOS HAJTÁSLÁNCCAL FELSZERELT AUTÓBUSZ ELŐÍRT GYORSULÁSÁHOZ SZÜKSÉGES NYOMATÉK MEGHATÁROZÁSA

## DETERMINATION OF THE TORQUE FOR PRESCRIBED ACCELERATION OF A BUS WITH ELECTRIC DRIVETRAIN

LENGYEL Ákos József

PhD, adjunktus, akos.lengyel@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Műszaki Mechanikai Intézet

**Kivonat:** Jelen tanulmányban egy elektromos meghajtásivá átalakítandó városi szóló autóbust vizsgálunk. Az átalakítást megrendelő vállalat előírásai alapján meghatározzuk, hogy a jármű hajtásláncának végén a hajtott tengelyen maximum mekkora nyomatékra van szükség vízszintes úton. Szintén a megrendelő előírásai alapján azt is meghatározzuk, hogy emelkedőn felfelé haladva mekkora hajtónyomaték szükséges a jármű állandó sebességgel történő haladásához. Az eredményeket összevetjük a jármű eredeti CNG (compressed natural gas, azaz sűrített földgáz) motorja és hajtáslánca által biztosított nyomatékkal és gyorsulással.

**Kulcsszavak:** elektromos meghajtás, CNG meghajtás, városi autóbusz, hajtó nyomaték

**Abstract:** In this study a bus to be converted to electric drive is investigated. According to the prescriptions of the ordering public transport company the maximal driving torque is determined on the rear axle on a horizontal road. The required torque is also computed when the vehicle moves on an acclivity with constant velocity. The results are compared with the torque and acceleration provided by the original CNG (compressed natural gas) engine and drivetrain.

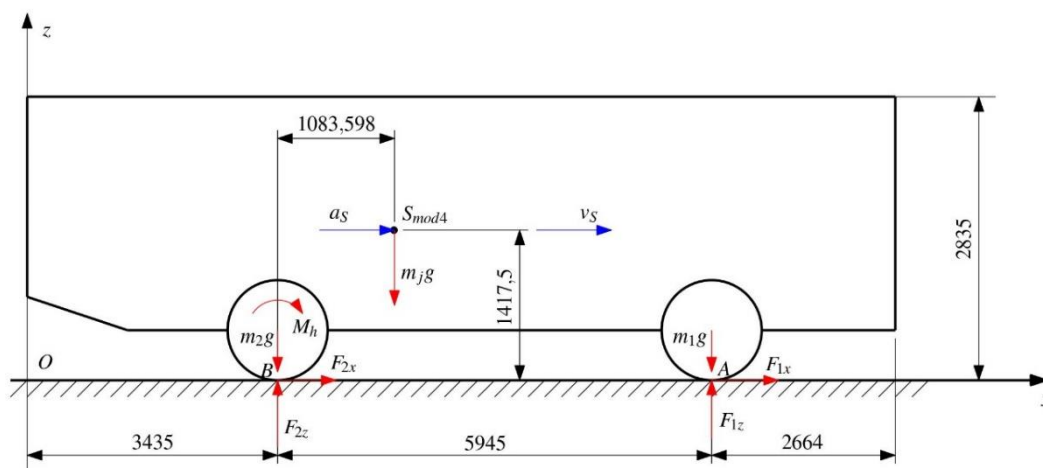
**Keywords:** electric drivetrain, CNG drivetrain, bus, driving torque

## 1. BEVEZETÉS

Jelen tanulmányban vizsgálatunk alapját egy Volvo 7700 CNG típusú 12 m-es városi szóló autóbusz képezi, melyet egy projekt keretében (lásd a köszönetnyilvánítást a tanulmány végén) át kell alakítani. Az autóbust eredetileg CNG üzemanyaggal működő belsőégésű motor hajtotta 6 fokozatú automata sebességváltón keresztül. Az átalakítás lényege, hogy a jármű eredeti hajtásláncát teljesen elektromosra kell kicserélni. Az átalakítást megrendelő tömegközlekedési vállalat előírta, hogy a jármű maximális gyorsulása  $2 \text{ m/s}^2$  lehet, illetve a jármű 20 %-os emelkedőn képes legyen a  $35 \text{ km/h}$  sebesség tartására. Ezt a két esetet különválasztottuk és mindkét esetben meghatároztuk, hogy mekkora hajtónyomaték szükséges ezen előírások teljesítéséhez. Fontos megjegyezni, hogy az eredeti autóbusszal és az újonnan beépítendő elektromos hajtással kapcsolatban is hiányos adatokkal rendelkezünk, ezért a nyomatékok értéke nemcsak pontos, ismert adatokból, hanem becsült értékekből is származik, ezért mindenképp közelítő értékeknek kell tekinteni a kapott nyomatékokat. A lentebb ismertetett számítási eljárást pontosabb adatok ismeretében elvégezve pontosabb értékeket kaphatunk.

## 2. ÜRES JÁRMŰ HAJTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES NYOMATÉK VÍZSZINTES ÚTON

A szükséges hajtónyomaték meghatározásához először célszerű a járműre vízszintes úton menet közben ható erőket és nyomatékokat felvenni egyenes haladás esetén, tisztázni a jármű sebességének és gyorsulásának irányát. Ezeket mutatja az 1. ábra ([1–3] alapján).



1. ábra: Az átalakított járműre ható összes erő és nyomaték szemléltetése.

Az 1. ábrán látható mennyiségek és jelölések a következők:  $a_s$  a jármű súlypontjának gyorsulása;  $v_s$  a jármű súlypontjának sebessége;  $M_h$  a hátsó tengelyt meghajtó nyomaték;  $F_{1x}$  az első kerekeken ébredő súrlódási erő;  $F_{1z}$  az első kerekeken ébredő függőleges támasztóerő;  $F_{2x}$ ,  $F_{2z}$  ugyanezen erőket jelöli a hátsó kerekeken;  $m_j$  a jármű kerekek nélküli üres össztömege;  $m_1$  az első két kerék össztömege;  $m_2$  a hátsó 4 kerék össztömege. A forgásból származó mozgási energia miatt a gördülő elemeket (a kerekeket) külön szerkezeti elemekként vizsgáljuk. Mivel az eredeti és az átalakított autóbusszal kapcsolatosan is az egyéb beépítendő alkatrészekkel összefüggésben kevés adat áll rendelkezésünkre, a kerekeken kívül még forgó mozgást végző tengelyeket a csak haladó mozgást végző össztömeggel vettük figyelembe.

Tettünk bizonyos elhanyagolásokat [3]. Mivel városi autóbusról van szó, mely a KRESZ előírásai alapján országúton sem haladhat 70 km/h-nál gyorsabban (illetve a megrendelő vállalata is alapvetően városi forgalomban tervezi csak használni a járművet), így a légellenállást elhanyagoljuk, mely ekkora sebesség mellett a vizsgálatunk szempontjából még nem fejt ki jelentős ellenállást. Szintén feltételezzük, hogy a megrendelő által előírt maximális gyorsulásra a jármű önerejéből legyen képes. Ez abból a szempontból érdekes, hogy a számított nyomaték érték mellett fennállhatnak olyan külső körülmények (lejtőn való indulás, erős hátszél), melyek mellett a jármű nagyobb gyorsulással is tud mozogni az előírtnál, de mindezt már nem önerejéből. Így tehát a járművet vízszintes talajra helyeztük, és üres tömegével számoltunk. Ezekkel a megfontolásokkal amint a járműre hat a légellenállás, és utasok is szállnak fel a járműre növelve a teljes jármű össztömegét, a számított nyomaték mellett természetesen csökkenni fog a gyorsulás értéke. Szintén feltevés, hogy a jármű minden elemének alakváltozásától eltekintünk, merev testekként modellezzük azokat.

A nyomaték meghatározásának egyik módja, hogy a járművet összetett szerkezetként modellezzük, melyben az első tengelyre szerelt két kerék alkot egy szerkezeti elemet, a hátsó tengelyre szerelt 4 kerék szintén egy önálló elem (ezek a forgó részek), az autóbussz többi része pedig a kerekek tömegével csökkentett tömegű, csak haladó mozgást végző test (1. ábra). Összetett szerkezetek esetében a gyorsulás kiszámítására a dinamika mozgásegyenleti közül a teljesítménytétel alkalmazása ajánlott [4]. A teljesítménytétel a következő alakban írható fel:

$$\frac{dE}{dt} = P. \quad (1.)$$

Ez a képlet azt fejezi ki, hogy a mozgó rendszer teljes mozgási energiájának (az (1.) képletben  $E$  jelöli) idő szerinti első deriváltja megegyezik a rendszerre ható összes erő és nyomaték



összteljesítményével (az (1.) képletben  $P$  jelöli). Merev testek esetében a mozgási energia számítása a következő formulával történik [4]:

$$E = \frac{1}{2} m v_S^2 + \frac{1}{2} J_S \omega^2, \quad (2.)$$

ahol  $m$  a test tömege,  $v_S$  a mozgó test súlypontjának sebessége,  $J_S$  a súlyponton átmenő, a test forgástengelyével párhuzamos tengelyre számított tehetetlenségi nyomaték,  $\omega$  pedig a test szögsebessége. Egy összetett szerkezet teljes mozgási energiáját úgy kapjuk, hogy kiszámítjuk az egyes testek mozgási energiáját és ezeket egyszerűen összegezzük. A mi esetünkben a járművet 3 merev testre bontottuk, tehát ezek mozgási energiáinak összege lesz a jármű teljes mozgási energiája. Vizsgálatunk során a jármű mozgását egyértelműen leírja egy  $xz$  síkmetszet mozgása (1. ábra), vagyis a jármű síkmozgást végez (most eltekintünk a kanyarodástól). A kerekek tekinthetők gördülő korongoknak (eltekintünk a gumiabroncsok rugalmas alakváltozásától), így az  $A$  és  $B$  pontok sebességpólusok (1. ábra). A kerekeken kívül minden más csak haladó mozgást végez. Így a jármű teljes mozgási energiája:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = \frac{1}{2} J_a \omega_1^2 + \frac{1}{2} J_b \omega_2^2 + \frac{1}{2} m_j v_S^2. \quad (3.)$$

Itt  $J_a$  az első kerekek tehetetlenségi nyomatéka az  $A$  ponton átmenő forgástengelyre,  $J_b$  a hátsó kerekek tehetetlenségi nyomatéka az  $B$  ponton átmenő forgástengelyre,  $v_S$  a mozgó test súlypontjának sebessége,  $\omega_1 = \omega_2$  az első és hátsó kerekek szögsebessége, melyek az azonos átmérőjű kerekek miatt megegyeznek.

Első lépésként számítsuk ki a kerekek tehetetlenségi nyomatékait. Ehhez az átalakítandó járműről rendelkezésre álló adatokból ismerjük a gumiabroncsok és a felnik méretét. Mind a 6 kerék gumiabroncs és felni mérete azonos. A jármű 275/70 R22,5 méretű gumiabroncsokkal szerelt, a felnik pedig 7,5 x 22,5 méretűek. A különböző gyártók azonos méretjelölésű terheletlen gumiabroncsait összehasonlítva azok átmérője nem teljesen azonos, átlagosan 960 mm, ezt fogjuk felhasználni. A számításokhoz nekünk a kerekek sugaraira lesz szükségünk  $m$  dimenzióban, tehát

$$r_1 = r_2 = 0,48 \text{ m}. \quad (4.)$$

A gyártók adatait összevetve az abroncsok átlagos tömege 52 kg körüli érték, a felnigyártók adatai alapján pedig egy 7,5x22,5 felni átlagos tömege 35 kg. Így tehát egy kerék teljes tömege 87 kg. Az első tengelyre két kerék, a hátsóra pedig négy darab van felszerelve, ezeket helyettesítjük egy-egy koronggal. A korongok tömege tehát:

$$m_1 = 2 \cdot 87 = 174 \text{ kg}, \quad m_2 = 4 \cdot 87 = 348 \text{ kg}. \quad (5.)$$

A szakirodalom alapján a kerekek saját súlypontjára számított tehetetlenségi nyomatékát a következő közelítő képlettel számíthatjuk:

$$J_s = 0,8mr^2, \quad (6.)$$

ahol  $m$  a kerék tömege,  $r$  a kerék sugara. Ha ugyanazon forgástengely körül több azonos méretű kerék is forog, akkor a teljes tehetetlenségi nyomaték a kerekek tehetetlenségi nyomatékainak az összege. Nekünk azonban nem a súlypontra, hanem a sebességpólusra átszámított értékre van szükségünk, melyet a súlyponti tehetetlenségi nyomaték ismeretében a Steiner-tétel [4] segítségével tudunk átszámítani:

$$J_a = J_s + ml_{SA}^2, \quad (7.)$$

ahol  $l_{SA}$  a kerék súlypontja és a póluspont közötti távolság. Gördülő korong esetében ez éppen a korong sugarával egyezik meg (1. ábra). Így meg tudjuk határozni a két korong tehetetlenségi nyomatékát felhasználva az (5.) értékeket és a (6-7.) képleteket:

$$J_a = 0,8m_1r_1^2 + m_1r_1^2 = 1,8m_1r_1^2 = 72,161 \text{ kgm}^2, \quad (8.)$$

$$J_b = 0,8m_2r_2^2 + m_2r_2^2 = 1,8m_2r_2^2 = 144,323 \text{ kgm}^2. \quad (9.)$$

A jármű átalakítás utáni üres össztömegére figyelembe véve a kiserelt egységek tömegét és a szóba jöhető beszerelendő alkatrészek tömegét a következő becslést használjuk  $m = 12719,3 \text{ kg}$ . Ebből levonjuk a 6 kerék tömegét, így kapjuk meg a csak haladó mozgást végző rész tömegét:

$$m_j = 12719,3 - 6 \cdot 87 = 12197,3 \text{ kg}. \quad (10.)$$

Gördülő korongnál kapcsolat teremthető a kerekek súlypontjának sebessége (mely egyúttal a jármű súlypontjának sebessége is) és a kerekek szögsebessége között:

$$v_S = r_1\omega_1 = r_2\omega_2. \quad (11.)$$

A tömegek és a tehetetlenségi nyomaték időben állandó értékek, az időtől csak a súlypontok sebessége és a szögsebességek függnek. Mivel a súlypont gyorsulása előírt, a gyorsulás-idő függvény pedig a sebesség-idő függvény idő szerinti első deriváltja, ezért célszerű a mozgási energia összes sebességjellemzőjét a súlypont sebességével kifejezni. A (11.) képletet átrendezve kapjuk  $\omega_1 = \omega_2 = \frac{v_S}{r_1}$ , ezt a kapcsolatot behelyettesítjük a (3.) képletbe, így

$$E = \frac{1}{2}J_a \frac{v_S^2}{r_1^2} + \frac{1}{2}J_b \frac{v_S^2}{r_1^2} + \frac{1}{2}m_j v_S^2 = \frac{1}{2}v_S^2 \left( \frac{J_a+J_b}{r_1^2} + m_j \right) = \frac{1}{2}m_{red}v_S^2. \quad (12.)$$

A (12.) egyenletben a zárójelben minden mennyiség valamilyen tehetetlenségi jellemző, ezek mind állandó értéket képviselnek. Ezt szokás helyettesíteni az ún. redukált tömeggel ( $m_{red}$ ). Így tehát a teljes mozgási energia időtől való függése kizárólag a  $v_S$  sebesség időtől való függésén keresztül jelenik meg, minden más mennyiség állandó. A kiszámított adatok alapján [(4.), (8.), (9.), (10.)] ezt a redukált tömeget meg is tudjuk határozni:

$$m_{red} = \frac{J_a+J_b}{r_1^2} + m_j = 13136,9 \text{ kg}. \quad (13.)$$

Most képezzük a teljesítménytétel megoldásához a (12.) mozgási energia idő szerinti első deriváltját

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2}m_{red}v_S^2 \right) = m_{red}a_S v_S = 13136,9a_S v_S. \quad (14.)$$

A következő lépés az (1.) teljesítménytétel jobb oldalának, azaz a rendszerre ható összes erő és nyomaték összteljesítményének ( $P$ ) meghatározása. Egy koncentrált  $\vec{F}$  erővektor teljesítménye a következő összefüggéssel határozható meg [4]:

$$P_F = \vec{F} \cdot \vec{v}, \quad (15.)$$

ahol  $\vec{v}$  a koncentrált erő támadáspontjának sebessége. Koncentrált nyomaték vektor ( $\vec{M}$ ) esetén a teljesítmény a következőképp számítható:

$$P_F = \vec{M} \cdot \vec{\omega}, \quad (16.)$$

itt  $\vec{\omega}$  annak a szerkezeti elemnek a szögsebessége, amelyre az  $\vec{M}$  nyomaték hat.

Az 1. ábrán bejelöltük a járműre ható összes erőt és nyomatékot. Az erők a támadáspontjaikban fel vannak bontva sebesség irányú és arra merőleges irányú komponensekre. A súlyerőket megvizsgálva ( $m_1g$ ,  $m_2g$ ,  $m_jg$ ) látható, hogy mindegyik merőleges a támadáspontjuk sebességének irányára, ezért teljesítményük zérus a (15.) alapján.

A támasztóerők ( $F_{1x}$ ,  $F_{1z}$ ,  $F_{2x}$ ,  $F_{2z}$ ) támadáspontja az A és a B pont, melyek tisztán gördülő korong esetében sebességpólusok, azaz sebességük ( $v_A$ ,  $v_B$ ) zérus, így ezen erőknek sincs teljesítménye.

A hajtónyomaték teljesítménye pedig a nyomaték és a hátsó kerék szögsebességének lesz a szorzata (16.) alapján:

$$P_M = \vec{M}_h \cdot \vec{\omega}_2 = M_h \omega_2 = M_h \frac{v_S}{r_1}. \quad (17.)$$

Mivel más erő vagy nyomaték nem hat a járműre, ezzel megkaptuk a járműre ható összes erő és nyomaték összteljesítményét, mely csak a hajtónyomaték teljesítményéből áll ebben az esetben. Így tehát erre a járműre az 1. ábrán vázolt helyzetben a következő alakban írható fel a teljesítménytel felhasználva (1.)-et, (14.)-et és (17.)-et

$$\frac{dE}{dt} = P_M \rightarrow m_{red} a_S v_S = \frac{M_h}{r_1} v_S, \quad (18.)$$

és mivel a jármű mozgása során a sebesség nem zérus, így adódik:

$$m_{red} r_1 a_S = M_h = 13136,9 \cdot 0,48 \cdot 2 = 12611,424 \text{ Nm}. \quad (19.)$$

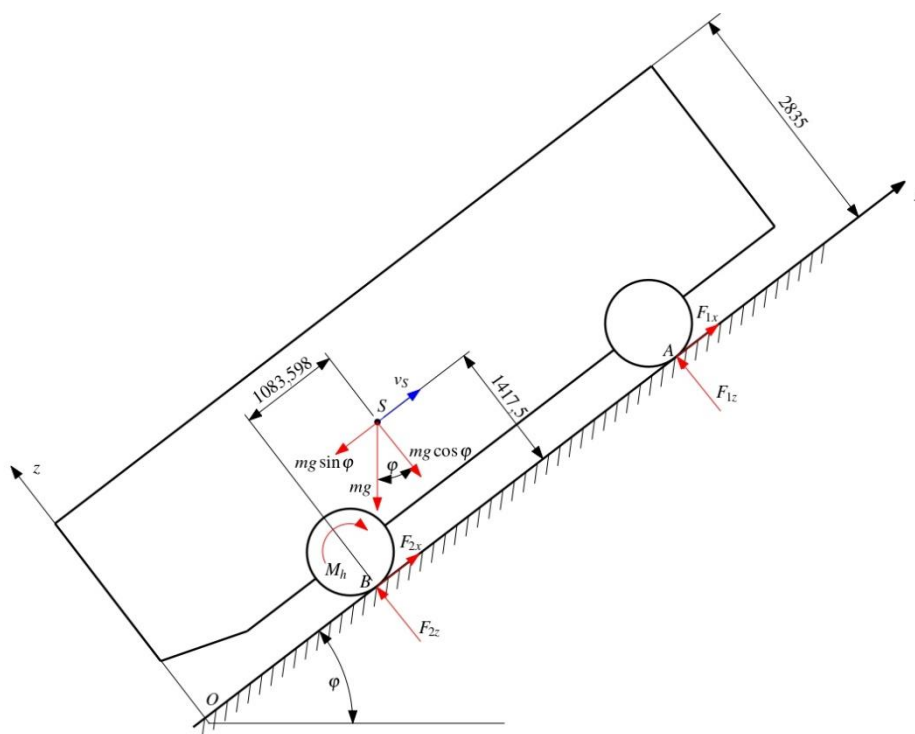
A (19.) összefüggés alapján látható, hogy rögzített keréktátró és hajtónyomaték mellett a tömeg növekedése (ha utasok szállnak fel a járműre) a gyorsulás csökkenésével jár. Ugyanilyen hatása van az ellenállások (légellenállás, gördülési ellenállás) figyelembevételének is.

### 3. SZÜKSÉGES HAJTÓNYOMATÉK MEGHATÁROZÁSA SEBESSÉG TARTÁSAHOZ 20 %-OS EMELKEDŐN

A megrendelőnek szintén előírása volt, hogy a jármű legyen képes 20 %-os emelkedőn 35 km/h sebesség tartására. Ehhez ismét a teljesítménytel fogjuk alkalmazni. A járműre ható erők a 2. ábrán láthatóak. A 2. ábrán a támasztóerők ( $F_{1x}$ ,  $F_{1z}$ ,  $F_{2x}$ ,  $F_{2z}$ ) teljesen hasonlóan lépnek fel, mint az előző fejezetben az 1. ábrán, a jelölések jelentése is azonos. Ami jelen esetben változik, hogy a sebesség állandó, így annak idő szerinti első deriváltja, azaz a gyorsulás eltűnik, zérus lesz. Láthattuk korábban (18.), hogy a teljesítménytelben a jármű teljes mozgási energiájának deriválásakor megjelenik a gyorsulás a képletben, mint szorzótényező. Ha ez zérussá válik, akkor az energiaderivált is zérus lesz ennek megfelelően. Tehát állandó sebességű haladás esetén a járműre ható összes erő teljesítménye is zérus kell legyen:

$$\frac{dE}{dt} = P \rightarrow 0 = P. \quad (20.)$$

Vagyis jelen esetben elegendő a járműre ható összes erő összteljesítményét felírni. Mivel a kerekek továbbra is tisztán gördülnek, azok érintkezési pontja a talajjal (a 2. ábrán A és B pontok) továbbra is sebességpólusok, így azok sebessége zérus. Ebből következik ismét, hogy a támasztóerők teljesítménye is zérus lesz. Ha a kerekeket most is különválasztjuk, akkor azok súlyereje továbbra is függőlegesen lefelé mutat, viszont súlypontjaik sebessége lejtőirányú.



2. ábra: A járműre ható erők és nyomatékok emelkedőn felfelé állandó sebességű haladás esetén.

Így érdemes felbontani a teljesítmény kiszámításához a súlyerőket lejtőirányú és lejtőre merőleges komponensekre. A lejtőirányú komponens teljesítménye így könnyen számítható, míg a merőleges komponens teljesítménye zérus lesz. Így a súlyerők teljesítménye:

$$P_G = -m_1 g v_S \sin \varphi - m_2 g v_S \sin \varphi - m_j g v_S \sin \varphi = -(m_1 + m_2 + m_j) g v_S \sin \varphi = -m g v_S \sin \varphi. \quad (21.)$$

A kiemelésekkel belátható, hogy a teljesítmény számításánál felesleges a kerekeket különválasztani a számításban, a jármű teljes össztömegével lehet azonnal számolni, így a 2. ábrán csak a teljes jármű súlypontjában ható teljes össztömegből származó súlyerőt vettük fel, és bontottuk fel lejtővel párhuzamos és arra merőleges komponensre. A (21.) képletben a teljesítmény negatív előjelű, hiszen a 2. ábrán is jól látható, hogy a súlyerő lejtőirányú komponense és a  $v_S$  sebesség ellentétes irányúak.

A jármű mozgásában még a hátsótengelyen működő hajtónyomaték játszik szerepet, ennek teljesítménye továbbra is a (17.) képlet segítségével írható fel, mivel a lejtőre helyezés sem a nyomaték irányát, sem a hátsó kerék szögsebességének irányát és kiszámítási módját nem be-

folyásolja. A hajtónyomaték meghatározásához szükségünk van a lejtő vízszintessel bezárt szögére. A megrendelő által előírt 20 %-os emelkedőből (melynek jelentése, hogy 100 m-t vízszintesen haladva 20 m-t teszünk meg függőlegesen):

$$\tan \varphi = 0,2 \rightarrow \varphi = 11,31^\circ. \quad (22.)$$

Feltételezzük, hogy a megrendelő elvárja a járműtől, hogy az teljes utasterhelés mellett is képes legyen tartani ezen az emelkedőn a 35 km/h-s sebességet, tehát most nem az üres jármű tömegével fogunk számolni, hanem a jármű megengedett legnagyobb össztömegével, mely a rendelkezésünkre bocsátott adatok alapján

$$m = 17950 \text{ kg}. \quad (23.)$$

Így a teljesítménytétel (20.) alakjával számítható a szükséges hajtónyomaték felhasználva a (17.) és (21.) egyenleteket. A további számításokhoz szükséges adatok megegyeznek az 1. fejezetben felhasznált adatokkal, így

$$0 = P = P_M + P_G = \frac{M_h}{r_1} v_S - mgv_S \sin \varphi. \quad (24.)$$

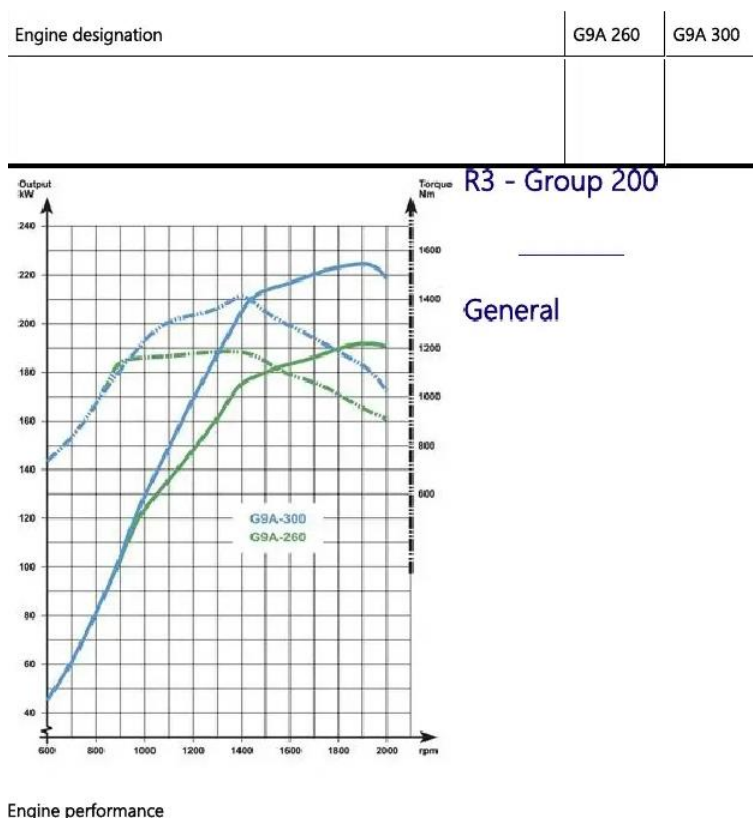
Mivel a jármű súlypontjának sebessége nem zérus, így azzal egyszerűsíthetünk, majd kifejezhetjük ebből az egyenletből a szükséges hajtónyomatékot

$$M_h = mgr_1 \sin \varphi = 17950 \cdot 9,81 \cdot 0,48 \cdot \sin 11,31^\circ = 16576,414 \text{ Nm}. \quad (25.)$$

Ebből az összefüggésből tehát az látszik, hogy elhanyagolva az ellenállásokat a hajtónyomaték független a sebességtől. Tehát a járművet bármilyen sebességre is gyorsítjuk fel, ekkora hajtónyomatékkal elvileg tartható a sebesség 20 %-os emelkedőn. Viszont ha szeretnénk gyorsítani a járművet, akár erre a sebességre, ahhoz nagyobb nyomatékra van szükség. Az viszont már ebből az eredményből is látszik, hogy most egy nagyobb nyomaték értéket kaptunk, mint amekkorával vízszintes úton elérhető üres járművel a megrendelő által előírt  $2 \frac{m}{s^2}$  maximális gyorsulás. Tehát ellentmondásba ütköztünk.

#### **4. AZ EREDETI CNG MOTOR ÉS A HOZZÁ KAPCSOLÓDÓ HAJTÁSLÁNC ÁLTAL BIZTOSÍTOTT NYOMATÉK ÉS GYORSULÁS SZÁMÍTÁSA**

Ebben a fejezetben a rendelkezésünkre bocsátott adatok alapján bemutatjuk, hogy bizonyos körülmények között az eredeti CNG motor a ZF Ecomat4 6HP604C automataváltón és a ZF AV132 hátsó hídon keresztül mekkora nyomatékot adott a hátsó tengelyre, és ezzel a jármű mekkora gyorsulásra volt eredetileg képes. A váltó alacsonyabb sebességfokozatai és a hátsó híd differenciálműve együttesen lassító áttétellel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy a motor által a főtengeyre leadott nyomatékhoz képest jelentősen nagyobb nyomatékot lehet levenni a hátsó tengelyen. Némi kutatás után sikerült megtalálni a CNG motor nyomaték és teljesítmény görbét a főtengeyer-fordulatszám függvényében (3. ábra) [5].



**3. ábra:** A Volvo G9A 260 és G9A 300 jelű CNG motorok teljesítmény és nyomaték görbéi.

Az átalakítandó autóbuszról kapott információk alapján a jármű eredetileg a G9A 300 jelű CNG motorral volt felszerelve, a 3. ábrán ehhez a magasabb értékeket tartalmazó (kék) görbék tartoznak. Folytonos vonallal a teljesítmény látható a motor főtengely-fordulatszámának függvényében, míg szaggatott vonallal a motor által előállított nyomaték szintén a főtengely-fordulatszám függvényében. Kiválasztunk a nyomatékgörbéről egy fordulatszám-tartományt. A 3. ábra alapján nem vétünk nagy hibát, ha egy egyenessel közelítjük a nyomatékgörbét 1100 és 1400 percnkénti főtengelyfordulat között. A függvényről leolvasható, hogy 1100-as fordulatszám mellett körülbelül 1300 Nm nyomatékot ad le a motor, míg a csúcnyomatékot, 1400 Nm-t éppen 1400-as fordulatszám mellett adja le a motor. E közé a két pont közé egy közelítő egyenest veszünk fel. A motor főtengelyének fordulatszámát átszámítottuk a főtengely szögsebességére, melyre az  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$  összefüggés szolgál, ahol  $n$  a főtengely fordulatszáma 1/min mértékegységben (ahogy azt a műszerfali fordulatszám mérőről is le lehet olvasni),  $\omega$  pedig a főtengely szögsebessége rad/s mértékegységben. Ezek alapján tehát 1100 1/min fordulatszám esetén a főtengely szögsebessége  $\omega_{m1} = 115,192 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ , míg 1400 1/min-nél  $\omega_{m2} = 146,608 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ . Így a motor által kifejtett nyomaték (jelöljük  $M_m$ -mel) a szögsebesség függvényében az alábbi egyenessel fejezhető ki a kijelölt fordulatszám-tartományban

$$M_m(\omega_m) = 3,183\omega_m + 933,344. \quad (26.)$$

Az  $m$  indexek az előbbi mennyiségekben mind a motorra utalnak. A motor által leadott teljesítmény számítható a (16.) képlet alapján, ahogy a hátsó tengelyen levett nyomaték teljesítménye is a tengely fordulatszámának segítségével

$$P_m = M_m \omega_m, \quad P_t = M_t \omega_t. \quad (27.)$$

Itt a  $t$  indexek a tengelyt jelölik. A motor által kifejtett teljesítményt a hajtáslánc nem tudja egy az egyben átvinni, bizonyos veszteségek megjelennek. Ezt a hajtáslánc hatásfokával tudjuk jellemezni, így [3]

$$P_t = \eta P_m, \quad (28.)$$

ahol  $\eta$  jelöli ezt a hatásfokot. A járműiparban nagyjából átlagos értéknek számít a 85 %-os hatásfok, ezzel fogunk számolni egyéb pontosabb adatok híján. A (28.)-ba behelyettesítjük a (27.) összefüggést, így [3]

$$M_t \omega_t = \eta M_m \omega_m. \quad (29.)$$

A sebességváltó és a differenciálmű áttételeinek segítségével kapcsolatot tudunk teremteni a motor és a tengely fordulatszáma, illetve ugyanígy a szögsebességek között [3]

$$\omega_t = \frac{\omega_m}{i_v i_d}, \quad (30.)$$

ahol  $i_v$  a váltó adott sebességfokozatának áttétele,  $i_d$  a differenciálmű áttétele. Az átalakítandó járműről kapott dokumentáció alapján a váltó első fokozatának áttétele  $i_v = 3,43$ , a differenciálműé pedig  $i_d = 5,77$ . A (30.)-t visszairjuk a (29.)-be

$$M_t \frac{\omega_m}{i_v i_d} = \eta M_m \omega_m. \quad (31.)$$

Ezt pedig átrendezve kapjuk a kapcsolatot a motor nyomatéka és a tengelyen levehető nyomaték között.

$$M_t = \eta i_v i_d M_m. \quad (32.)$$

Ebbe az összefüggésbe be tudjuk helyettesíteni a (26.) közelítő nyomatékgörbét

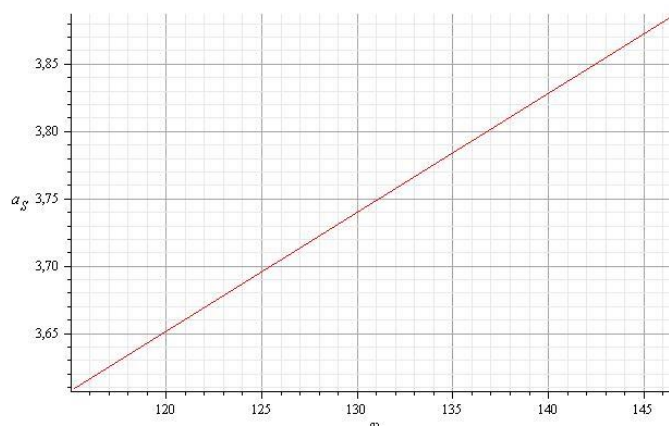
$$M_t = \eta i_v i_d (3,183 \omega_m + 933,344). \quad (33.)$$

Ez a tengelyen levehető nyomaték a motor főtengelyén mérhető szögsebesség függvényében. Ez a nyomaték lesz tulajdonképpen a 2. és 3. fejezetben vizsgált hajtónyomaték ( $M_h$ ), amelynek segítségével a teljesítménytételt ugyanolyan alakban tudjuk felírni, mint a (18.) egyenlet, azzal a különbséggel, hogy a (13.) egyenletben számított redukált tömegben az  $m_j$  értéke most változott, az eredeti jármű 12694 kg-os üres tömegéből kell kivonni a 6 db kerék tömegét, így most  $m_j = 12694 - 6 \cdot 87 = 12172$  kg. A (18.) képletet rendezve a gyorsulásra kapjuk

$$a_s = \frac{M_t}{r_1 m_{red}}. \quad (34.)$$

A (34.)-be beírva a (33.) összefüggést ismertté válik, hogy hogyan változik a jármű súlypontjának gyorsulása a motor főtengelyén mérhető szögsebesség (tehát a fordulatszám) függvényében. A 4. ábrán a jármű gyorsulását tüntettük fel a főtengely szögsebességének függvényében.





**4. ábra:** A jármű súlypontjának gyorsulása a CNG motor 1100 és 1400 percenkénti fordulatszámnak megfelelő szögsebesség tartományán (A gyorsulás [ $m/s^2$ ], a szögsebesség [ $rad/s$ ] mértékegységben).

A 4. ábrán látható értékek a sebességváltó első fokozatában érhetőek el, hiszen a fenti képletekben az annak megfelelő áttételt alkalmaztuk. Mivel ez az áttétel a differenciálmű áttételével kombinálva igen nagy végáttételt eredményez, ezek az értékek alacsony sebesség mellett állnak fenn.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

A 2. és 3. fejezet eredményei azt mutatják, hogy a megrendelő által az átalakítandó jármű dinamikai tulajdonságaira tett előírásai ellentmondásosak. Ennek feloldására több megoldás is lehetséges. Megoldást jelenthet olyan elektromos hajtáslánc beépítése, mely biztosítja az emelkedően való gyorsításhoz szükséges hajtónyomatékot, de egy dőlésszög érzékelő rendszer segítségével csak akkor adja le azt, amikor valóban szükség van rá, míg vízszintes úton csak annyi nyomatékot enged a szabályozás, hogy ne lépjük túl az előírt gyorsulást. Ez valószínűleg növelné az átalakítás költségigényét, illetve bonyolítja annak megtervezését is. Egyszerűbb megoldás lehet, ha a megrendelő magasabb gyorsulás értéket is megenged az átalakítandó járműre, ezt elősegítendő mutattuk be a 4. fejezetben, hogy az eredeti hajtáslánccal is a jármű képes volt nagyobb gyorsulás elérésére, mint amit a megrendelő előírt.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GIUGGIANI, M.: *The Science of Vehicle Dynamics*, Springer, Dordrecht, 2014.
- [2] SCHRAMM, D., HILLER, M., BARDINI, R.: *Vehicle Dynamics – Modeling and Simulation*, Springer, Berlin, 2014.
- [3] JAZAR, R. N: *Vehicle Dynamics – Theory and Application*, Springer, New York, 2014.
- [4] KIRÁLY, B.: *Dinamika*, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2006.
- [5] <https://www.scribd.com/document/386844961/VOLVO-G9A> (Megtekintés dátuma: 2023.05.04.)

# VOLVO 7700 CNG TÍPUSÚ AUTÓBUSZ GÉPÉSZETI ÁTALAKÍTÁSA AKKUMULÁTOROS HAJTÁSRA

## MECHANICAL CONVERSION OF A VOLVO 7700 CNG BUS TO BATTERY POWERED DRIVE

LÉNÁRT József

egyetemi tanársegéd, jozsef.lenart@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet,  
Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A cikk egy CNG üzemű Volvo 7700 típusú autóbussz gépészeti átalakításaival foglalkozik, melyek a CNG üzemről akkumulátoros elektromos üzemre való átállításához szükségesek. Az elvégzett irodalomkutatás elsősorban az elektromos hajtáslánc és az ahhoz szükséges elemek kiválasztására és azok elhelyezési lehetőségeire összpontosít. Az átalakított autóbusszal szemben támasztott előírások (terhelhetőség, hatótávolság, stb.) alapján javaslatot teszek az átalakítás során alkalmazandó megoldásokra, azok beépítési megoldásaira.

**Kulcsszavak:** elektromos hajtás, akkumulátor, autóbussz

**Abstract:** This article deals with the mechanical modifications of a CNG powered Volvo 7700 bus to convert from CNG to battery electric operation. The literature research carried out focuses on the choice of the electric powertrain and the components required for it, and their possible placement. Based on the requirements to be met by the converted bus (load capacity, range, etc.), the solutions to be used during the conversion and their installation are proposed.

**Keywords:** electric drive, battery, bus

## 1. BEVEZETÉS

A tömegközlekedési járművek elektromos üzemre való átállítása a klímavédelmi célok teljesítéséhez, a tisztább városi levegő megteremtéséhez elengedhetetlen feladatnak tűnik. Elterjedésüket hátráltatja a magas bekerülési költség, valamint számos technikai probléma. Az egyik legnagyobb probléma a működtetéshez szükséges villamos energia tárolása [1]. Az elterjedten alkalmazott dízelüzemű járművek hajtóanyaga, a gázolaj fűtőértéke 11,9 kWh/kg, ezzel szemben az elterjedt lítium-ion akkumulátorok energiasűrűsége 100-200 Wh/kg, vagyis ugyanannyi energia sokkal nagyobb tömegű akkumulátorban tárolható. Ezen szerencsére javít valamennyit az a tény, hogy az elektromos hajtások hatásfoka közel kétszerese a belsőégésű erőforrásokéhoz képest, azonban így is egy 150-200 kg tömegű üzemanyagtartály helyett 1-1,5 t tömegű akkumulátorra van szükség [2]. További problémát jelent az akkumulátor(ok) feltöltése. Az akkumulátorok töltési sebességét az alkalmazott akkumulátortechnológia és a rendelkezésre álló infrastruktúra korlátozza. A biztonsági szempontból leginkább megfelelő lítium-vasfoszfát (Li-FePO<sub>4</sub>) típusú akkumulátorok energiasűrűsége 100-120 Wh/kg körül van, töltési (és kisütési) terhelhetősége pedig 1C, vagyis a kapacitásával egyező, azaz egy 150 kWh kapacitású akkumulátor maximum 150 kW teljesítménnyel tölthető, megfelelő üzemi állapotban, amely általában csak a teljes töltési idő kis részében alkalmazható, így több órás töltésre van szükség. Járatervezéskor a járművek hatótávolságát – biztonsági ráhagyással – és a töltési időt számításba kell venni.

## 2. A SZÜKSÉGES ÁTALAKÍTÁSOK

A hajtáslánc átalakításán és az akkumulátor(ok) beépítésén kívül felmerül több alrendszer átalakításának szükségessége is, amelyek a hagyományos dízel buszokban a motorral állnak kapcsolatban. Ezekkel kapcsolatban az első problémát a sűrített levegős alrendszert tápláló kompresszor jelenti, amely az eredeti konstrukcióban közvetlenül a belsőégésű motorról van meghajtva.

A kutatás során az is megállapítást nyert, hogy az átalakítás tervezése során az akkumulátoros elektromos buszok mellett érdemes megvizsgálni az egyéb elektromos hajtású tömegközlekedési járműveket is, különös tekintettel a trolibuszokat [3], mivel azokban az alrendszerek már elektromos üzemre vannak tervezve. Az átalakítás megtervezéséhez tehát elsősorban az alábbi egységek kiválasztását és elhelyezési, beépítési lehetőségeit kell megvizsgálni:

- villamos motor(ok),
- hajtómű,
- akkumulátor(ok),
- az ezek működtetéséhez szükséges elektronikák,
- kiegészítő alrendszerek (pneumatika, hidraulika).

### 2.1. Az elektropneumatikus alrendszer átalakítása

A jármű eredeti elektropneumatikus rendszere az alábbi fő komponensekből áll:

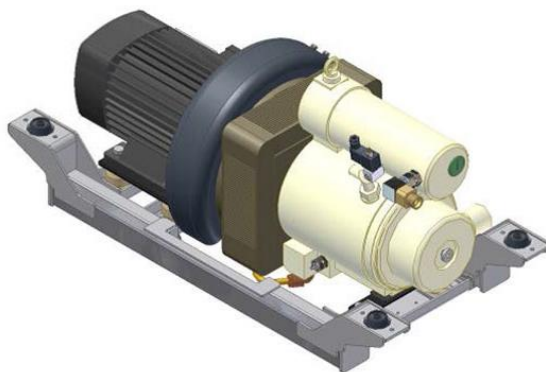
- kompresszor: a belsőégésű motorról közvetlenül, fogaskerék-hajtással hajtott, annak hűtő- és olajrendszerét használó kétdugattyús kompresszor (*1. ábra*),
- az utasajtókat nyitó-záró munkahengerek elektropneumatikus szelepekkel vezérelve,
- a szintező és „térdeplő” funkciókat biztosító légrugók a felfüggesztésben,
- üzemi- és rögzítőfék.



*1. ábra: Wabco dugattyús kompresszor [3].*

Ezt a kompresszort mindenképpen le kell cserélni, mivel a belsőégésű motorra közvetlenül csatlakozik, így annak hiányában körülményes lenne a hűtő- és olajkör megoldása. Helyette egy független kompresszor egységet kell beépíteni. Ilyenek szerencsére léteznek kereskedelmi termékként és rendelkeznek a szükséges minősítésekkel. Ilyenek építenek be a hibrid és elektromos teherjárművekbe, buszokba, trolibuszokba, sőt mozdonyokba is. Kézenfekvő megoldás a *2. ábrán* látható, a magyar Ganzair által gyártott BRQ4/10/35 típusú kompresszor alkalmazása, mivel már több hasonló járműben bizonyított. Elhelyezése a jármű hátsó részében megoldható.

Az elektropneumatikus rendszer többi eleme, a vezérlő szelepek, munkahengerek, levegő előkészítő egységek, stb. felhasználhatók, nincs szükség cseréjükre.



2. ábra: Ganzair BRQ4/10/35 elektromos kompresszor egység.

## 2.2. A hidraulika alrendszer

A busz hidraulika rendszere gyakorlatilag a kormányrészegítő egységet jelenti, más hidraulikus elem nincs a buszon. Ennek tápszivattyúja eredetileg a belsőégésű motorról hajtott, ennek cseréje szükséges, szerencsére elérhetők kész megoldások a piacon, amelyeket direkt hibrid, illetve elektromos járművekhez fejlesztettek. Kézenfekvő megoldás a Volvo hibrid buszaihoz kifejlesztett rendszert beépíteni. Ez független egységként működik, csak egy 24 VDC betáplálás szükséges a működéséhez, elhelyezése pedig a jármű első részében lehetséges, mivel mérete és tömege kicsi, nem igényel különleges átalakítást, illetve komolyabb tervezést.

## 2.3. Akkumulátorok

Az energiaellátásért felelős akkumulátorok kiválasztása eredetileg nem az én feladatom volt, viszont mivel ezek igen jelentős tömeggel és geometriai méretekkel rendelkeznek, nélkülözhetetlen a beépítendő egységek ismerete a gépészeti átalakítások tervezéséhez.

A hasonló akkumulátoros elektromos buszok paramétereinek vizsgálata alapján meghatározható a szükséges akkumulátorok mennyisége. Ezt több paraméter befolyásolja:

- az elérendő hatótáv: az előírás szerint legalább 75 km hatótávot kell tudnia a busznak, így a hasonló járművek fogyasztási adatait és a biztonsági tényezőt figyelembe véve körülbelül 130-150 kWh akkumulátor kapacitás beépítése szükséges;
- akkumulátoros elektromos járművekben biztonságtechnikai szempontok miatt elsősorban LiFePO<sub>4</sub>, vagy LiFeYPO<sub>4</sub> kémiai típusú akkumulátorokat alkalmaznak, mivel ezek tűzbiztonsági szempontból sokkal biztonságosabbnak számítanak a többi Li-ion akkumulátor típusnál. Tartósan 1C terhelhetőséget enged meg a technológia, vagyis, ha 150 kW terhelhetőséget (és töltési teljesítményt) szeretnénk, akkor 150 kWh kapacitást kell beépíteni.

Biztonsági megfontolások alapján érdemes piacon kereskedelmi termékként elérhető kész akkumulátor pakkot beépíteni, mivel ezek már rendelkeznek a szigorú biztonságtechnikai minősítésekkel és garanciákkal. Egy piaci terméket kiválasztva (eMobiTech LFP 615) az alábbi paraméterek adódnak: egy akkupakk kapacitása: 49 kWh (nettó), méretei: 1665x700x340 mm, tömege: 564 ± 20 kg.

A szükséges mennyiségű energia tárolásához három ilyen egység szükséges, tehát a teljes akkumulátor egység kb. 1,2 m<sup>3</sup> (nettó) térfogatú és kb. 1,7 tonna tömegű lesz. Ekkora térfogat és tömeg a belsőégésű motor és annak tartozékai (sebességváltó, hűtő- és kipufogórendszer) kibontása után felszabadul, így a szükséges akkumulátor kapacitás elhelyezhető a jármű hátsó részében. A busz stabilitásának vizsgálata mindenképpen szükséges, mivel jelentős tömeg kerül a hátsó tengely mögé elhelyezésre, de mivel a belsőégésű motor tartozékaival együtt hasonló

tömegű, valószínűleg nem okoz stabilitási problémát az elhelyezés. Az akkumulátor egységekből esetleg egy a tetőn is elhelyezhető, ha a motortérben nem fér el.

## 2.4. Elektromos hajtáslánc

A villamos motor (vagy motorok) és a szükséges hajtómű kiválasztása hasonlóan nagy feladat rész. Mivel ezen beépítendő egységek elhelyezése az előbbiektől sokkal kötöttebb, nagyban befolyásolja az átalakítást és a többi egység elhelyezését. A villamos motor és a hajtómű kiválasztása meghatározza annak pozícióját a buszban és mivel ezek elég jelentős helyigényűek, így mindenképpen szükséges ezek elhelyezését figyelembe venni a többi egység elhelyezésének tervezésekor. Mivel az egyes részterületek vizsgálata párhuzamosan halad, így a hajtáslánc konkrét elemei még nincsenek kiválasztva munkám során, így két valószínű megoldást veszek figyelembe:

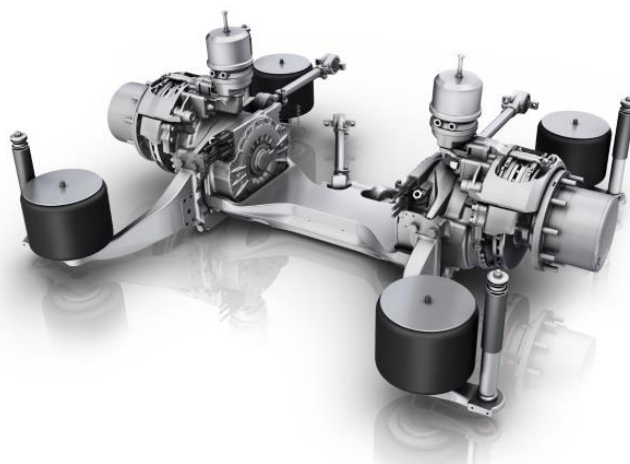
- az eredeti belsőégésű motor helyére építhető, az eredeti hátsó tengelyre ráhajtó megoldást (centrális motor, pl. ZF CeTrax, Dana TM4, 3. ábra),
- valamint egy elektromos buszokhoz kifejlesztett hátsó híd megoldást (pl. ZF AVE 130 AxTrax, Allison ABE), amely kompakt formában tartalmazza a villamos motorokat és hajtóműveket is (kerékagymotoros hajtott portáltengely, 4. ábra).



3. ábra: ZF CeTrax hajtómű egység.

Utóbbi megoldás egyébként nagy szabadságot eredményez a többi egység elrendezési lehetőségeiben, mivel az eredeti busz hátsó hídjának helyére épül be, a villanymotorok és hajtóművek gyakorlatilag a kerékagyakba kerülnek, így tulajdonképpen nem foglal azon kívül helyet.

A belső égésű motor helyére építhető villanymotor-hajtómű egység az eredeti motorhoz hasonlóan egy kardántengely segítségével a busz hátsó tengelyét hajtja meg.



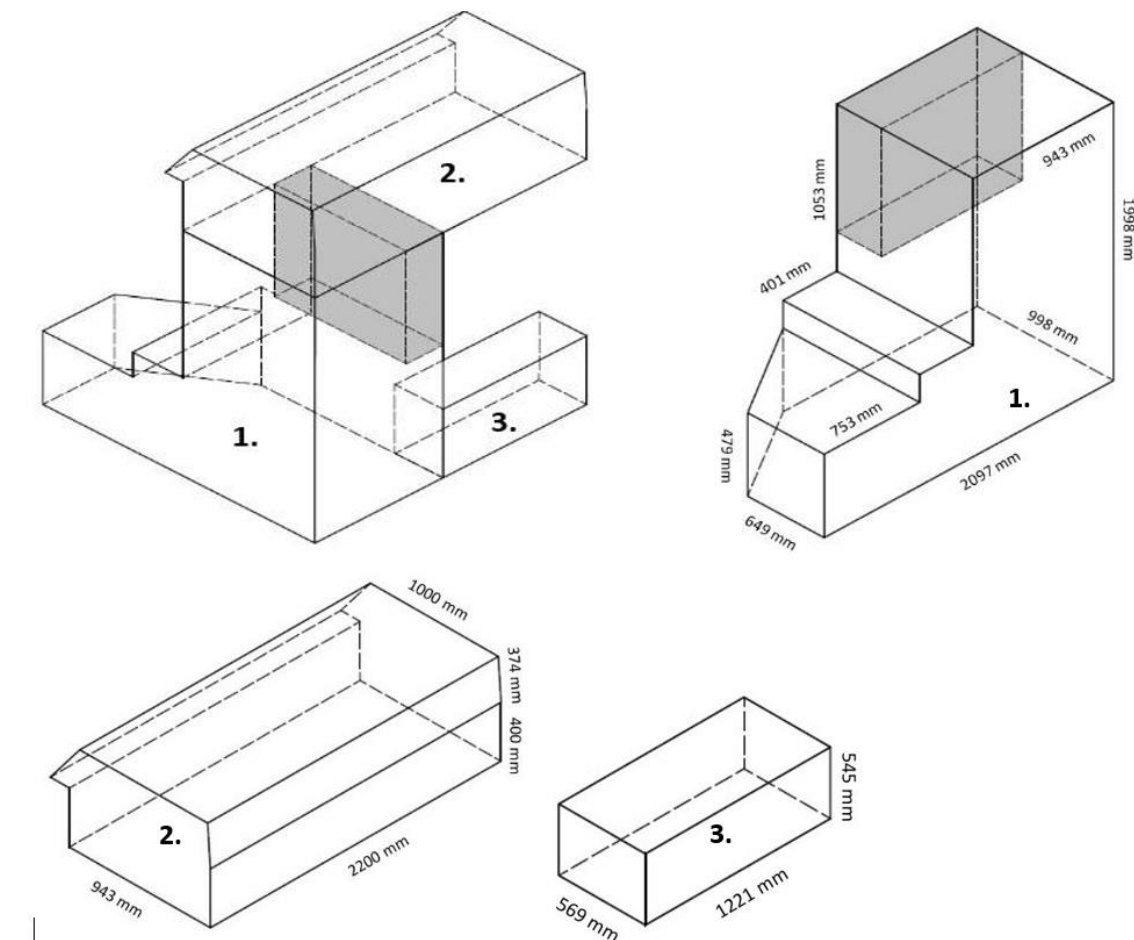
4. ábra: ZF AxTrax AVE 130 egység.

### 3. A BEÉPÍTENDŐ EGYSÉGEK ELHELYEZÉSE

A belsőégésű motorral rendelkező busz akkumulátoros elektromos üzemre való átalakításához szükséges egységek meghatározása után, megismerve azok geometriai méreteit, tömegét, elhelyezési sajátosságait, megkötéseiket már lehetséges az egységek elhelyezését tervezni. Ehhez szükséges egy hasonló buszon méréseket végezni, hogy lássuk, körülbelül mekkora beépíthető térfogatra számítsunk. Egy Volvo B7700 busz motorterét felmérve [4], az 5. ábrán látható méretek adódnak.

Az 1. jelű térfogat a belsőégésű motor helye a hátsó tengely mögötti részen. A hajtómű választásától függően az alsó része felszabadul (hajtott elektromos portáltengely esetén), vagy pedig a villanymotor(ok) és a hajtómű (centrális motor) fogja nagyrészt elfoglalni. A felső részben, ami az utastér bal hátsó sarkát foglalja el, beépíthetők az akkumulátorok. A végleges megoldás függvényében vagy az összes akkupakk itt lesz elhelyezve, vagy – amennyiben nem fér el itt mind – a 2. jelölésű helyen is elhelyezhető kisebb mennyiség. Utóbbi esetben szükséges a tetőszerkezet szilárdságtani vizsgálata [5].

A kompresszor egység és az elektronikák nagy része (inverterek, DC-DC átalakítók) elhelyezhető a 3. jelölésű térfogatban, amely a hátsó ülésor alatti részt jelöli. Eredetileg ezen a helyen többek között a klímakompresszor van elhelyezve, szíjhajtással a belsőégésű motorról meghajtva, azonban mivel elektromos klíma egység lesz az átalakított buszon – amely kompakt egységként tartalmazza többek között az elektromos meghajtású klímakompresszort is – ez a hely felszabadul.



6. ábra: Rendelkezésre álló terek a busz hátsó részében.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS, JAVASLAT AZ ÁTALAKÍTÁSHOZ

A kutatás alapján az átalakításhoz szükséges beépítendő egységek – a feleslegessé váló alkatrészek kibontása után - el fognak férni a jármű motorterében. A beépítésre kerülő alkatrészek pontos típusának meghatározása után a szükséges tartószerkezetek megtervezése és méretezése lehetséges.

Az egyes egységek sajátosságai:

- kompresszor: saját beépítőkerettel rendelkezik, tömege nem különösen nagy, így egyszerű tartókonzolok kialakítása szükséges;
- akkumulátorok: méretük és tömegük jelentős, ezért a pontos típus kiválasztása után meghatározandó a szükséges tartóelemek elhelyezése, mennyisége és méretei. Mivel jelentős tömegük hatással lesz a jármű tömegközéppontjára, szükséges lesz megvizsgálni annak stabilitását;
- motor(ok) és hajtómű: hajtott portáltengely választása esetén nincs teendő, az a jármű eredeti hátsótengelyének helyére épül be, nem foglal el jelentősen nagyobb helyet, valamint a tömegnövekedés nem számottevő.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

#### 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PERUMAL S. G., LUSBY R. M., LARSEN J.: *Electric bus planning & scheduling: A review of related problems and methodologies*. European Journal of Operational Research 301, pp 395-413, Elsevier B.V., 2021.
- [2] MAHMOUD M., GARNETT R., FERGUSON M., KANAROGLOU P.: *Electric buses: A review of alternative powertrains*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 62. pp 673-684, Elsevier B.V., 2016.
- [3] BRANDT: *WABCO Twin Cylinder Compressor*, műszaki rajz, diagramok, WABCO, [https://www.wabco-customercentre.com/catalog/hu\\_HU/4127040190?cartID=](https://www.wabco-customercentre.com/catalog/hu_HU/4127040190?cartID=) 2009. (Megtekintés dátuma: 2023.05.09.)
- [4] VOLVO: *Informacja Techniczna – Volvo 7700 – Zeszyt studenta*. Tanfolyami anyag, GT2000233
- [5] KÁDÁR, L., VARGA, F., KŐFALUSI, P.: *Közúti járműrendszerek szerkezetana*. BME MOGI, 2014.



# ELEKTROMOS VÁROSI KÖZLEKEDÉSRE SZÁNT AUTÓBUSZOK TŰZOLTÓ RENDSZER KÖVETELMÉNYEINEK BEMUTATÁSA

## PRESENTATION OF FIRE EXTINGUISHING SYSTEM REQUIREMENTS FOR ELECTRIC CITY TRANSPORTATION BUSES

**MATUSZ-KALÁSZ Dávid**

egyetemi tanársegéd, david.matusz-kalasz@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet,  
Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** Az utóbbi években az elektromobilitás a legtámogatottabb közlekedési móddá vált, így a jövőben egyre gyakrabban találkozhatunk majd ilyen járművekkel. Annak lehetősége is gyakran felmerül, hogy hagyományos járműveket alakítsanak át elektromossá, mint ebben a cikkben szereplő városi autóbusz esetében is. A városi tömegközlekedési eszközökön az utasok magas száma miatt eddig is nagy hangsúlyt kapott a biztonság. Azonban az elektromos tűz oltása jól átgondolt, körültekintő eljárást igényel. Ez a cikk e témakör áttekintését tűzte ki céljává, a városi autóbusz átalakítási folyamatának támogatása során szerzett tapasztalatok alapján.

**Kulcsszavak:** elektromos jármű, tűzoltás, akkumulátor

**Abstract:** In recent years, electric mobility has become the most supported mode of transport, so in the future we will see such vehicles more often. The possibility of converting traditional vehicles to electric ones is also often raised, as in the case of the city bus in this article. Due to the high number of passengers on urban public transport, safety has been a major focus until now. However, extinguishing an electrical fire requires a well-thought-out and careful procedure. This article aims to provide an overview of this topic, based on the experiences gained during the support of the city bus conversion process.

**Keywords:** electric vehicle, firefighting, battery

### 1. AUTÓBUSZOK SZERKEZETI FELÉPÍTÉSÉNEK FEJLŐDÉSTÖRTÉNETE

Az alábbi terheléseket kell elviselnie egy jármű vázszerkezetének: el kell viselnie a saját szerkezetének (motor, sebességváltó, segédberendezések stb.) súlyát; hordoznia kell az utasok, csomagok, teherautóknál a rakomány súlyát; fel kell vennie a jármű üzemeltetéséből fakadó terheléseket (gyorsítás, lassítás, kanyarodás); fel kell vennie a jármű haladása során az egyenetlen út okozta gerjesztésből származó terheléseket.

A kis területen koncentrálódó terhelések felvétele erőbevezetésekkel keresztül valósul meg (futómű bekötések, motorfelfüggesztés stb.), az erőhatásokat be kell vezetni a vázszerkezetbe [1]. A terhelés lehet nyíró-, hajlító- és csavaró igénybevétel, más megközelítésből/szempontról statikus és dinamikus igénybevétel, valamint kifáradás is. A vázszerkezet akkor felel meg a rendeltetésének, ha a terhelés során nem ébrednek benne a megengedettnél nagyobb feszültségek, és a ráható erők sem maradandó alakváltozást, sem repedést vagy törést nem okoznak benne. Ennek érdekében a vázszerkezeteket nemcsak statikus, hanem dinamikus erőhatásokra (újabbán kifáradásra is) méretezik. A kellő szilárdság mellett fontos az alaktartás (merevség) és a balesetbiztonság is [1-4].

A klasszikus autóbusz vázszerkezeteket három fő csoportba, kategóriába sorolhatjuk [1-4]:

- alváz (differenciál),
- önhordó (ennek egyik alváltozata a fenékváz önhordó),
- integrál (átmeneti, kapcsolt, vegyes, együtt-dolgozó).

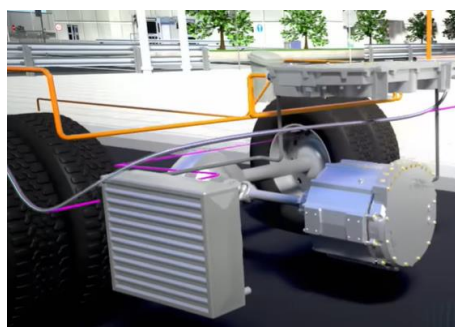
## 1.1. Alacsonypadlós buszok

A legtöbb autóbuszgyártó úgy éri el az alacsony padlómagasságot (L – low, vagy LE - low entry), hogy hátsó motoros hátsókerék-hajtású, hajtótengely nélküli, független első felfüggesztéssel rendelkező buszokat gyárt, így nincs szükség tengelyre az utastér elülső részének padlója alatt, vagy leengedett első tengelyre. Mivel a motor jellemzően a jármű legnehezebb alkatrésze, a hátsó tengely közelébe helyezve általában nagyobb súlyt jelent a hátsó tengelyre, mint az elsőre, amit általában hátsó súlyeltolódásnak neveznek. Minél hátrébb van a motor, annál nagyobb a torzítás. A hátsó súlyeltolódás azt jelenti, hogy a hajtott kerekek nagyobb tapadást tesznek lehetővé gyorsításkor, így nagyobb erőt tudnak kifejteni a talajon, és gyorsabban gyorsulnak. A hátsó súlyeltolódás hátránya, hogy az autó instabillá válhat, és hajlamos túlkormányozni, különösen lassításkor [5-9].

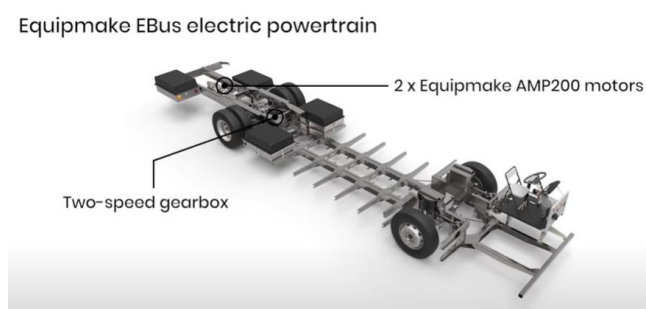
## 1.2. Hagyományos üzemű járművek elektromossá alakítása

A motortér és a sebességváltó a busz végében a gépjárművezetői oldalon van felfogatva (ez az állítás igaz szóló és csuklós buszok esetében egyaránt). Ezen elemek kiszerelése jelentős teret szabadít fel a jármű belsejében. Továbbá a belsőégésű motor hűtőrendszere is értelemszerűen a busz végében található, azonban ezek az alkatrészek helyigénye minimális volt. Sajnálatos módon az üzemanyagtank nem szabadít fel sok helyet. Autóbuszokban a tank jellemzően a kerékfelfüggesztések mellett, a kerék dobhatét körül kerül kialakításra. Alakja amorf, egyáltalán nem egy szabályos test, mivel az (üzemanyag mivel folyadék) bármilyen alakot fel tud venni. CNG hajtóanyag esetén a gáztartályok a busz tetején kerülnek elhelyezésre, ebben az esetben azok kiszerelése már hasznosítható tér felszabadulását jelenti.

A villanymotor és hajtómű elhelyezése egyértelműnek tűnik (*1. ábra*), mivel az eredeti belsőégésű hajtáshoz tartozó gépelemek kiszerelésre kerülnek majd, magától értetődő, hogy a csere elemek itt kapjanak helyet. Egyrészt a felszabaduló hely elegendő, valamint a hajtás rendszer logikája is megköveteli. Nyilvánvaló tény, hogy egy konkrétan a buszba tervezett belsőégésű motor és sebességváltó házat úgy terveznek, hogy azok pontosan illeszkedjen a rendelkezésre álló térben. A villanymotor és az ahhoz tartozó hajtómű már eltérő geometriával rendelkezik. A buszba való integrálásuk elsősorban felfogatásukkal, rögzítésükkel kapcsolatos kérdéseket vet fel. Minden bizonnyal különleges tartóelemek és szerkezetek legyártása lesz szükség az átalakítás során. Továbbá ez a megoldás egyben a jármű teherelosztását is kis mértékben módosítaná [5-9].



(a)



(b)

**1. ábra:** (a) A villanymotor és futómű közvetlen összekapcsolása; (b) hajtómű közbeiktatása.

Az akkumulátor csomag elhelyezése egy sokkal komplikáltabb feladat, ugyanis egy jelentős ösztömegű építőelem lenne az átalakított járműnek. Az autóiiparban már számos geometriájú és elrendezésű akkumulátorcsomagokat terveztek, így a befogadó hely geometriája kevésbé

korlátoz. Dízel és CNG meghajtású buszok esetén is egyaránt a legjobb megoldás a három leg-hátsó ülőhely megszüntetésével felszabaduló hely kitöltése lenne. CNG üzemanyag esetén van egy olyan további lehetőség, hogy a gáztartályok helyén kerüljenek telepítésre az akkumulátor-csomagok. Azonban a gáztartályok tömege jóval kisebb, mint az akkumulátor csomagoké, így ez alapos mechanikai ellenőrzést igényel. Ezeket a gépjárműveket jellemzően úgy tervezik, hogy a jármű farában csoportosul a legtöbb tömeg, így ezzel a tervezési elvvel egybevág a javasolt elhelyezés.

### 1.3. Elektromos buszok

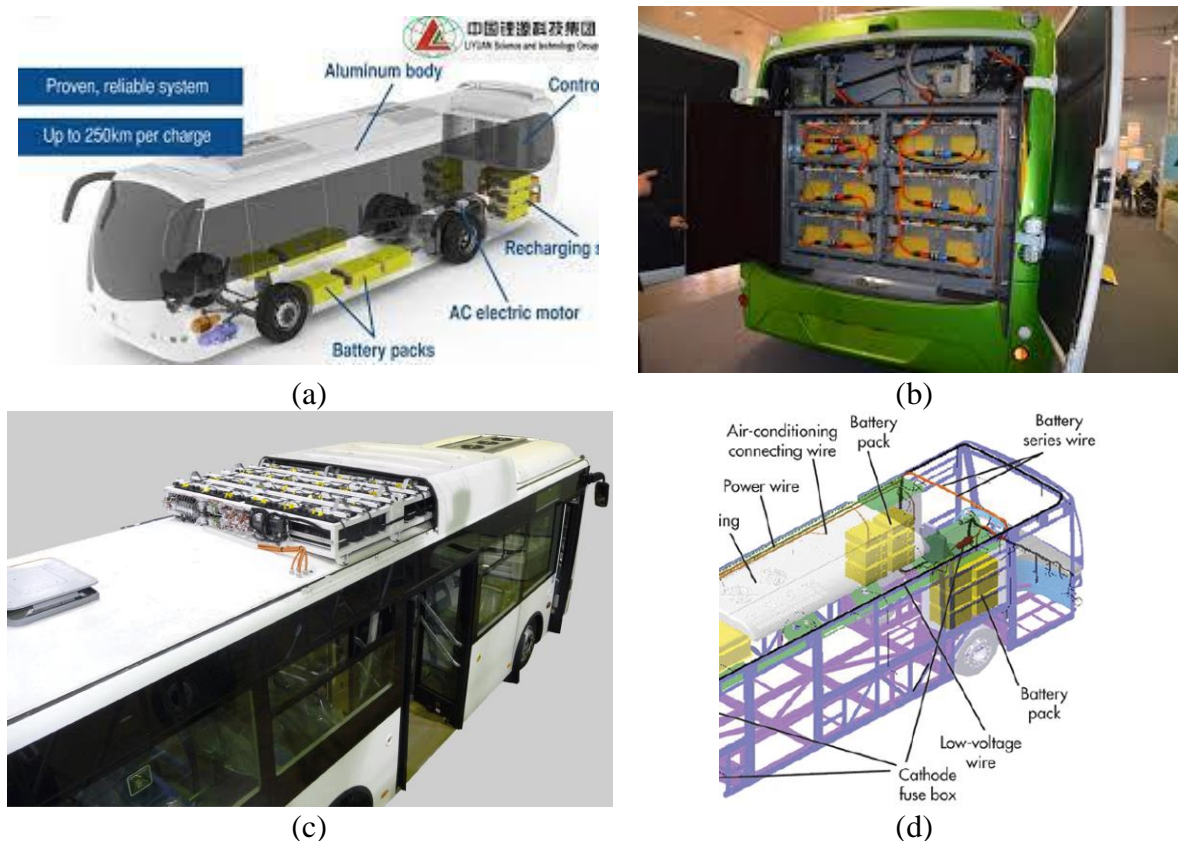
Jelen esetben elektromos buszok alatt azokat a villamos energiával üzemelő típusokat értjük, amelyek függetlenek külső minden áramellátási áramkörtől. Thehát, míg a trolibuszoknak két-vezetékes felsővezetékre van szükségük, ami kivitelezéskor jelentős költségelem, valamint megnehezíti a útvonal szabad megválasztását (részben kötőtpályás). Szükség esetén a trolibuszok is képesek a felsővezetés elhagyásával rövidebb távok megtételére, azonban az autonóm elektromos városi buszok megfelelő akkumulátorokban tárolt villamos energiát igényelnek. Ezen függetlenségük alapján tökéletesen képesek kiváltani a termikus elven működő járműveket. Ez az autonómia jelentősen javul a lassítási vagy fékezési fázisban a kinetikus energia visszanyerésére szolgáló rendszernek köszönhetően, amelynek visszanyerése elérheti a 20% -os küszöböt. Összehasonlítva az energiahatékonyságot, az elektromos járműveknél mintegy 90%-os, a belső égésű motoros hajtásoknál pedig csak 30-40%-os eredő hatásfokkal lehet számolni. Ahogy a villanymotor kiváltja belső égésű megfelelőjét, úgy a termikus üzemanyag tartályokat az akkumulátor helyettesíti. Azonban a folyékony üzemanyag tartályok formája erősen amorf formát is felvehet, ezzel szemben az villamosenergia tároló akkumulátorok elrendezése és formája sokkal kötöttebb. Továbbá fajlagos súlya és várható összetérfogata is jelentősen nagyobb.

#### Akkumulátor csomagok lehetséges elhelyezési megoldásai (2. ábra):

- utastér alatt,
- busz hátsó végében,
- tetőn,
- futóművek felett.

Az elektromos járművek vázszerkezetei a belső égésű társaikhoz hasonlóan készülhetnek rozsdamentes acélból, azonban a súlycsökkentés és az ezzel járó hatótávolság növekedés végett az általánosan alkalmazott vázszerkezet alumíniumból készül. A vázszerkezetekben szemmel látható lényeges különbségek nem fedezhetőek fel. Amennyiben a tetőre helyezik el az akkumulátor pakkokat erősebb szerkezet kialakítása szükséges, azonban ez nem oldja fel annak veszélyét, hogy a jármű menetstabilitása könnyebben felborulhat. Jellemzően az elektromos buszok esetében a hajtásrendszer és az akkumulátorok elrendezése követi a belsőégésű és hibrid gépészeti berendezések elrendezési módját. Az elektromotor és a többi kiegészítő berendezés a bal hátsó kerék után kap helyet.

Az utóbbi években bemutatott elektromos busz prototípusokban jellemzően szétosztották az akkumulátor pakkokat. Általában 2-3 különböző ponton helyezték el azokat a vázszerkezeten a lehető legjobb súlyelosztás végett. Azonban jellemzően ezek a pontok további szerkezeti megerősítést kaptak. Továbbá ezek az akkumulátor pakkok eltérő típusú akkumulátor cellákat rejtenek, aminek oka, hogy a kombinálással lehet ötvözni az előnyöket és kiküszöbölni a hátrányokat. Ugyanakkor számos gyártó megengedheti magának, hogy különböző prototípusokat gyárthat különböző anyag (motor, akkumulátor inverter stb.) összetételben, ezáltal kikísérletezve gyakorlatban is a leghatékonyabb konstrukciót [5-9].



2. ábra: Elektromos üzemű autóbusz akkumulátor pakkjainak elhelyezése (a) az utastér alatt; (b) a jármű végében; (c) a tetőn; (d) a futóművek felett az utastértől biztonságtechnikai okok miatt körültekintően elszigetelve.

## 2. TŰZ KIALAKULÁSÁNAK LEHETŐSÉGE ELEKTROMOS JÁRMŰVEKEN

Tűz keletkezéséhez vezethet a villamos berendezés működési zavara vagy hibája is. A hivatalos statisztikája szerint a három főbb elektromos tűz ok előfordulás szerint csökkenően a következő: nagy átmeneti ellenállás; rövidzárlat vagy villamos ív; kábelek és vezetékek túlterhelése.

### 2.1. Elektronos tűz lehetséges forrásai elektromos járműveken

A járművek esetében a spontán kigyulladásnál még létezik egy eshetőség, ami növeli a tűz előfordulásának valószínűségét és ez a közúti beleset (3. (a) ábra). Azonban ez nem jelenti, hogy az elektromos járművek veszélyesebbek lennének, mivel a belsőégésű motoros autók, melyek szintén kigyulladhatnak belesetek során. Egy nagyerejű ütközésben előfordulhat, hogy megsérül, torzul az akkumulátorok egyébként jól védett szerkezete, esetleg egy törött alkatrész hatol be az akkumulátorcellák közé és okoz zárlatot. Ebben az esetben nagyon valószínű, hogy gyorsan, néhány másodperc leforgása alatt intenzív, nehezen oltható és újra lobbanásra is hajlamos tűz keletkezik, ami nem csak a sérült járművet és utasait, de a környezetet is veszélyezteti.

Nem vitatható tény, hogy a világszerte forgalomba helyezett elektromos járművek számának növekedésével egyre több esetben válnak közúti belesetek elszenvedőivé. Márpedig kifejezetten fontos hangsúlyozni, hogy az elektromos járművek kigyulladása jellemzően a megengedett

sebességhatárok átlépésével hozhatók összefüggésbe. Az így bekövetkező balesetek során az akkumulátor cellák számos alkalommal sérültek, amelyek tüzesethez vezettek. Természetesen spontán gyulladások előfordulása sem zárható ki, azonban ezek olyan gyártási hibákra vezethetők vissza, amelyeket a legjobb gyártósorok és a legprofesszionálisabb üzeme sem képesek teljes mértékben kiküszöbölni. Továbbá, a tüzesetek közel harmada a jármű töltése során alakult ki (3. (b) ábra). Minden bizonnyal ezek az esetek sarkallták a döntéshozók részéről azt a szabályt, miszerint számos országban nem megengedett az elektromos járművek töltése, amennyiben utasok tartózkodnak rajta [10-12].



(a)



(b)

**3. ábra:** (a) Baleset során az utastér alatt kigyulladt elektromos jármű; (b) a jármű a feltöltési művelet során gyulladt ki.

## 2.2. Elektronos tűz oltásának szabályai

Fontos kiemelni, hogy az elektromos tűz külön kezelendő más tüzesetekről, tűzforrásoktól. Az elektromos tűz fokozottan veszélyes lehet az emberre nézve, mivel a sok műanyag alkatrész égéstermékai mérgezőek lehetnek, valamint nagy mennyiségű korom keletkezik. A létrejövő korom és füst jóval nagyobb részre kiterjed, mint maga a tűz, behatol akár nehezen hozzáférhető helyekre is. A tűz során keletkező korom villamos szempontból vezetőképes. A korom olyan villamos berendezésben is meghibásodást okozhat, amely közvetlenül nem volt kitéve tűznek. Az elektromos tűz akkor is jelentős kárt okozhat, ha a tényleges égés a jármű csak egy kisebb részre terjed ki. Minden elektromos energiát használó és továbbító eszköz vagy szerkezet hőtermel.

Elektromos tűz oltásának a szabályai: első lépésként szükséges az áramtalanítás, második lépésként a tűzoltást kell megkezdeni, porral oltó vagy gázzal oltó készülékkel. A száraz port tartalmazó készülék elektromos tüzek, égő szilárd anyagok, lánggra lobbant gyúlékony folyadékok oltására való, ellenben égő zsiradék esetén nem használható. A szén-dioxiddal töltött palackkal gyúlékony folyadékokat (étolajat nem) és elektromos tüzeket olthatunk el. Előnye, hogy az elektromos készülékeket nem vagy alig károsítja. Használat közben nagy odafigyelést igényel, mert fagyási sérüléseket okozhat! Továbbá, a keletkező hő elvezetéséről gondoskodni kell, mert a berendezés műanyag részei vagy a környezetben található éghető anyagok túlmelegedhetnek és meggyulladhatnak [10-12].

## 3. ELEKTROMOS JÁRMŰVEK TŰZOLTÓRENDSZERÉNEK ALKOTÓELEMEI

Napjaink járműiparában a tüzesetek előfordulási esélye nem elhanyagolható. A modern tűzoltó rendszerek nélkülözhetetlenek az utasok, járművezetők és szerelők testi épségének megóvása érdekében. A 4. ábrán látható autóbuszok esetében a tűz áterjedt az utastérre is. Továbbá a vagyonvédelmi szerepük is jelentős, mivel a járművek és azok környezetében okozandó kár minimalizálásáért is felelnek. Az esetleges helyreállítási és javítási költségeket csökkentik.



Amennyiben egy telephelyen tárolt elektromos gépjármű töltése során keletkezik a tüzeset, akkor a tűz átterjedhet a töltőberendezésre, valamint közelben parkoló többi gépjárműre, esetleg közelben álló épületre [10-12].

A tűzoltó rendszerrel szemben támasztott elvárások: a gyors beavatkozás, automatikus tűzfelismerés, emberi egészséget és járműalkatrészeket nem károsító oltóanyag, az oltó mechanizmus ne igényeljen külső energiaforrást. A legegyszerűbb tűzoltó mechanikák alkalmazása a motor-, vagy akkumulátortérben ajánlott, amelyek az első lángok felcsapása után pár másodperccel megkezdik az oltást. Így megakadályozzák, hogy a lángok elérjék az utasteret. Az ilyen egyszerű berendezések tűzérzékelő szenzora egyszerűen megolvad, minek hatására a túlnyomáson tárolt oltóanyag kiáramlik a tartályból és eloltja a lángokat [10-12].



(a)

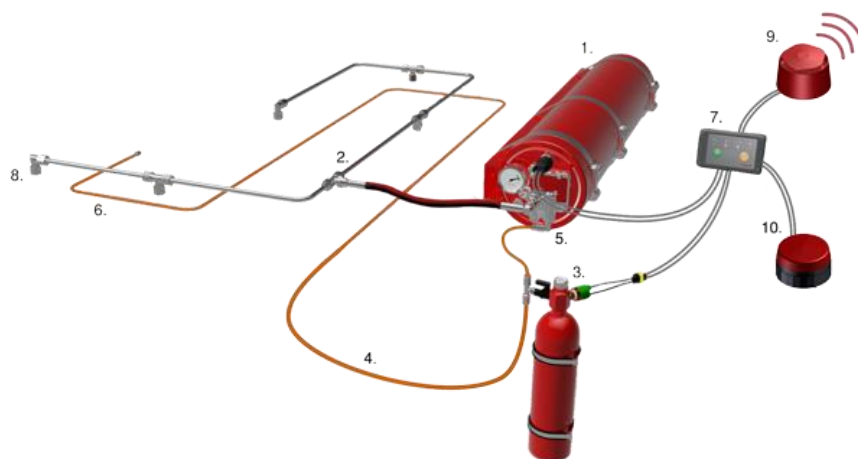


(b)

**4. ábra:** (a) Égő városi busz; (b) korábban kigyulladt jármű a tűz eloltása után.

Tömegközlekedésben alkalmazott járművek esetén az oltás önmagában nem feltétlenül elegendő. Az oltórendszert érdemes kombinálni vészleállító, valamint a gépjárművezetőt figyelmeztető és az utasterbe helyezett vészjelző rendszerrel, amely a gépjármű azonnali elhagyására szólít fel. Továbbá, érdemes azt a lehetőséget is figyelembe venni, hogy milyen lehetőség vehetőek számba az ajtók vésznyitására a jármű akadálymentes elhagyása érdekében.

Az 5. ábra egy korszerű, a mai elvárásoknak megfelelő automata tűzoltó rendszer elvi elrendezését és építőelemeit mutatja be. Az (1)-es számozással jelölt oltóanyag tartály szükség esetén kiengedi az oltóanyagot. Tervezés és igény függvénye, hogy mennyi tartályra van szükség egy adott jármű esetében. Egyes típusok esetében dugattyús megoldás segíti az oltóanyag maradéktalan távozását a tartályból. A tárolótartályt a porlasztó szórófejekkel (8) korrózió- és hőálló csővezetékek (2), valamint szerelvények (5) kötik össze. Precíz tervezést igényel a szórófejek leghatékonyabb elrendezése a sikeres és gyors tűzelfojtás érdekében. Továbbá a helyes tervezés minimalizálja a szerelvények számát, ezzel a dugulások kialakulását vagy egyéb meghibásodások előfordulását. Az automata oltórendszert egy az oltórendszerhez hasonlóan nagy nyomású tűzérzékelő mechanika (6) hozza működésbe. A vékony csövek könnyen elrendezhetőek, nem foglalnak nagy helyet, nem nehezítenek egyéb karbantartási, vagy javítási folyamatokat. A tűz hatására az érzékelőcső sérül, a csőben lévő túlnyomás megszűnik, minek hatására egy szeleprendszer megnyitja az oltóanyag tartály, adott esetben vészjelzést (7, 9, 10) ad le akár az utasterben, akár a gépjárművezető irányába egyaránt [10-12].



5. ábra: Korszerű automata tűzoltó rendszer építőelemei és a rendszer elvi elrendezése.

Az elektromos járművek esetén, jellemzően az akkumulátorcellák sérülésekor jelentős lehet a füstképződés. Elképzelhetőnek tartom, hogy a lángra lobbanó alkatrészek és konkrét tűz előtt a füstképződés az első jele a veszélynek. Célszerűnek tartom füst érzékelésre alkalmas szenzorok használatának mérlegelését is, annak ellenére, hogy kutatómunkám során erre vonatkozó leírást nem találtam. Akkumulátor tüzesetek oltására a vízpermet helyett valamilyen zselés, CO<sub>2</sub> vagy poralapú oltóanyagot javaslok [13].

#### 4. ELEKTROMOS TŰZOLTÓRENDSZER TERVEZÉSE ÉS INTEGRÁLÁSA

Ahogy azt korábban kifejtettem, a mai modern világunkban elterjedt buszok alacsonypadlós, farmotoros kivitelezésűek. Ennek a kategóriának felel meg az átalakítandó busz is. A motortér és a sebességváltó a busz végében a gépjárművezetői oldalon van felfogatva. Ezen elemek kiszerezése jelentős teret szabadít fel a jármű belsejében. Továbbá a belsőégésű motor hűtőrendszere is értelem szerűen a busz végében található, azonban ezek az alkatrészek helyigénye minimális volt. Sajnálatos módon az üzemanyagtank nem szabadít fel sok helyet. Jelen autóbuszokban a CNG gáztartályok a busz tetején találhatóak, azok kiszerezése már hasznosítható tér felszabadulását jelenti.

A villanymotor és hajtómű közelében a busz hátsó végében helyezném el a tűzoltó rendszer főbb alkatrészeit (pl. oltóanyag tárolókat), ahogyan az a 6. ábrán is megfigyelhető. Így biztosított lenne a gyors és egyszerű hozzáférés a karbantartások és ellenőrzések idején. Mivel a tűzoltó rendszerek nagy nyomáson tárolt oltóanyagokkal működnek, azok olyan gyorsan képesek eljutni a csöveken keresztül bárhová, akár a busz elülső végébe is, hogy valójában bárhol elhelyezhetőek a buszban. Úgy vélem a motorhűtő rendszer kiszerezésével felszabadult térben a tűzoltórendszer oltóanyag tárolóinak elhelyezése megoldható. A tűzoltó rendszer felszerelésnek egy lehetséges módját szemlélteti az alábbi ábra.





6. ábra: A tűzoltó rendszer felszerelésének egy lehetséges módja.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elsődleges célom az volt, hogy bemutassam miként épül fel a tűzoltás folyamata elektromos városi buszok esetében, valamint kisebb betekintést engedni az átalakítási folyamatba. Fontos megjegyezni, hogy figyelembevéve a közlekedő elektromos járművek számát a világon, tüzesetek száma elenyésző, azonban egy teljes mértékben nem kiküszöbölhető veszélyforrásról van szó. Továbbá a tömegközlekedés okán az utasok nagy száma tovább növeli a beavatkozásra való igényt.

A témakör áttekintése során bemutattam a szóban forgó autóbusz típus legfőbb jellemzőit és az átalakítást érintő változásokat. Részleteztem az elektromos tűz oltásával kapcsolatos legfontosabb ismereteket, valamint potenciális tűzforrásokat egy elektromos járműben. Úgy vélem egy az átalakítási munkálatok sikerét biztosító anyagot sikerült összeállítani.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VÁRNAI, T., MATOLCSY, M.: *Alvázás autóbuszok, autóbusz alvázak*, Járművek, Mezőgazdasági Gépek, Vol. 33. No. 9-10. 1986.
- [2] GION, J., SZILVÁSI, B., TRAMONTINI F.: *Korszerű gépjárműszerkezetek*; Budapest., 1979.

- [3] PICARD, F. L., HAUG, E. M.: *A korszerű autóbuszok tervezési alapelvei*, Járművek, Mezőgazdasági Gépek, Vol. 15. No. 9. szám 1968.
- [4] BORBÁS, L., DÓRA, S., GALAMBOSI, F., VINCZE-PAP, S., KECSKÉS, S.: *Jármű-felépítmények vizsgálata*, Budapest., 2012.
- [5] WANG, Y., ZENG, X., SONG, D., YANG, N.: *Optimal rule design methodology for energy management strategy of a power-split hybrid electric bus*, Energy, Vol. 185, pp. 1086-1099. 2019.
- [6] GÖHLICH, D., FAY, T., JEFFERIES, D., LAUTH, E., KUNITH, A., ZHANG, X.: *Design of urban electric bus systems*. Design Science, Vol. 4, E15. 2018.
- [7] YANG, Z., DENG, B., DENG, M., SUN, G.: *A Study on Finite Element Analysis of Electric Bus Frame for Lightweight Design*, MATEC Web of Conferences, Vol. 175. 2018.
- [8] BARRAZA. O., ESTRADA, M.: *Battery Electric Bus Network: Efficient Design and Cost Comparison of Different Powertrains*, Sustainability, Vol. 13. 4745. 2021.
- [9] RODRIGUES, A.L.P., SEIXAS, S.R.C.: *Battery-electric buses and their implementation barriers: Analysis and prospects for sustainability*, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 51. 101896. 2022.
- [10] SMYTH, S., DILLON, S.: *Common Causes of Bus Fires*, SAE Technical Paper 2012-01-0989, 2012.
- [11] SUN, P., BISSCHOP, R., NIU, H., HUANG, X.: *A Review of Battery Fires in Electric Vehicles*, Fire Technology, Vol. 56. pp. 1361–1410. 2020.
- [12] Mao, B., Liu, C., Yang, K., Li, S., Liu, P., Zhang, M., Meng, X., Gao, F., Duan, Q., Wang, Q., Sun, J.: *Thermal runaway and fire behaviors of a 300 Ah lithium ion battery with LiFePO<sub>4</sub> as cathode*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 139, 2021.
- [13] YU, D., LI, Y., ZHANG, S., DONG, H., HAN, G., XIAN, X.: *Fire Extinguishing Test of Lithium-Ion Battery Case in Electric Bus*, 2019 9th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (ICFSFPE), Chengdu, China, pp. 1-5. 2019.

# AKKUMULÁTOROK ELHELYEZÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI AZ ELEKTROMOS BUSZOK ESETÉN

## POSSIBLE PLACEMENT OF BATTERIES IN CASE OF ELECTRIC BUSES

**NAGY Gábor**

PhD, egyetemi docens, gabor.nagy2@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, Energia-, Kerámia- és Polimertechnológiai Intézet

**Kivonat:** A karbonsemleges jövő eléréséhez a tömegközlekedési eszközök terén is egyre nagyobb változások fognak bekövetkezni, emiatt a villamos hajtású autóbuszoknak mennyisége is növekedni fog. Ezek beszerzési költsége viszont jelentős, emiatt a dízel üzemű buszok átalakítására is egyre nagyobb lesz az igény. Ennek során a dízel üzemű működés alkatrészeit eltávolítják, a felszabaduló hely pedig alkalmassá válik az új alkatrészek elhelyezésére. Az akkupakk helyigénye számottevő, mérete meghatározó a hatótáv tekintetében, így a tanulmány áttekintést ad a gyári és átalakított elektromos autóbuszok akkumulátor elhelyezési lehetőségei tekintetében.

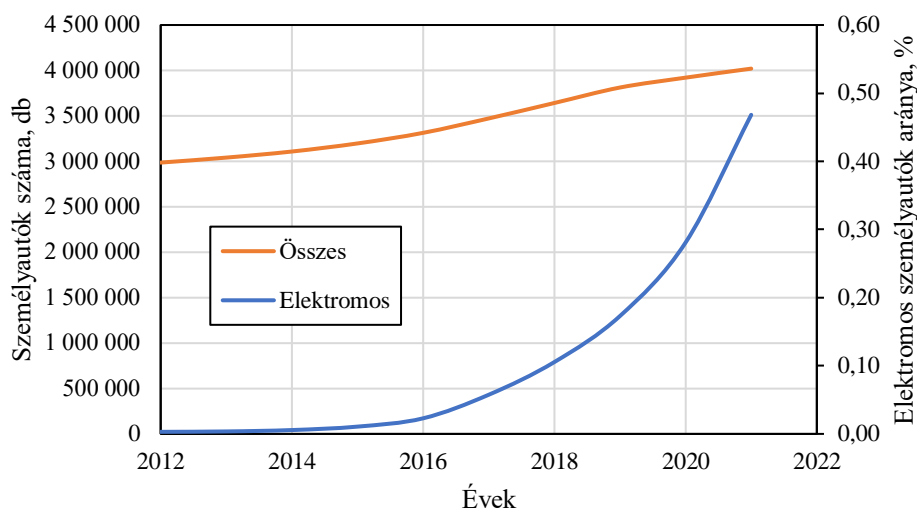
**Kulcsszavak:** akkumulátor, elektromos busz, átalakítás

**Abstract:** In order to achieve a carbon-neutral future, more and more changes will take place in the field of public transport, which will increase the number of electric buses. However, the purchase cost of these is significant, which is why the demand for the retrofitting of diesel-powered buses will also increase. During this, the components of the diesel system are removed, and the freed space becomes suitable for the placement of new components. The space requirement of the battery pack is considerable, and its size is decisive in terms of the travel range, so the study provides an overview of the battery placement options of original and converted electric buses.

**Keywords:** battery, electric bus, retrofitting

### 1. BEVEZETÉS

Az elektromos járművek múltja az 1800-as évek elejéig nyúlik vissza, amikor is az első nagyobb mennyiségben gyártott típusok egyre szélesebb körben terjedtek. Ezek az Egyesült Államokban az 1900-as évekre már 28%-os piaci részesedést értek el, viszont az olcsó benzinnek köszönhetően az 1930-as évekre szinte teljesen háttérbe szorultak. Az elektromos autózás terjedésének legutolsó nagy mérföldkövét 2008-ra datálják, amikor is az olaj hordónkénti ára meghaladta a 145 USD-t. Ez egy jelentős hajtóerőt biztosított az elektromos járművek újbóli terjedéséhez, így 2011-re ezen járművek mennyisége történelmi csúcsot ért el [1]. Ez a növekedés azóta is tart. Az elektromos személyautók mennyisége hazánkban 2015 után indult exponenciális növekedésnek, 2021-re megközelítve a személyautók 0,5%-os részarányát (1. ábra). Ez nem sokkal marad el az európai átlagtól, amely 2021-ben 0,75% volt. A legtöbb európai ország esetén az elektromos személyautók aránya lényegesen elmarad az 1%-tól, viszont kiemelkedő példák is fellelhetők. A regisztrált elektromos személyautók aránya Norvégia esetén 2021-ben már közel 15,5%, amely messze felülmúlja a többi EU tagországot [2].

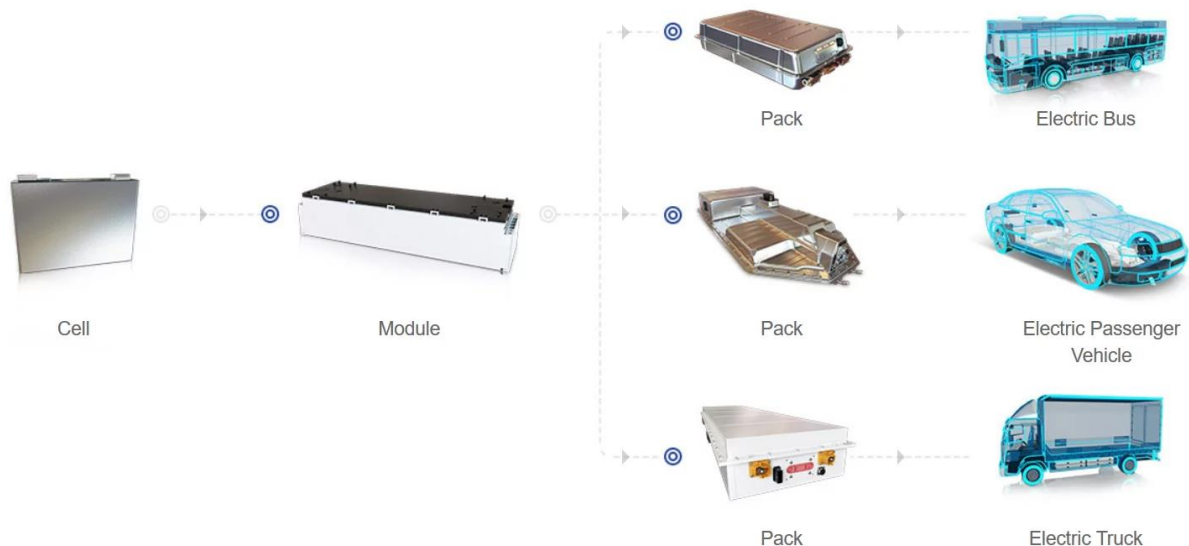


1. ábra: A személyautók számának alakulása Magyarországon [2].

A városokon belüli közösségi közlekedés megléte elengedhetetlen a mindennapi életünk komfortosabbá tételéhez, ehhez az utak zsúfoltságának, a károsanyag kibocsátás, valamint az energiafelhasználás csökkentésével járul hozzá. A legtöbb városban a tömegközlekedés jelentős részét autóbuszok segítségével bonyolítják le, ilyen például Budapest is, ahol a 110 db trolibusz, 320 db villamos és 75 db metrószerelvény mellett 1200 db autóbusz üzemel [3], vagy Miskolc, ahol a 34 db villamos közlekedésén túl további 143 db autóbusz biztosítja az utasok szállítását [4]. Az Európai Unió által kitűzött dekarbonizációs célok eléréséhez a fosszilis üzemanyagot használó tömegközlekedési eszközök korszerűsítése, majd cseréje is hozzá fog járulni. A környezetbarátabb és kisebb CO<sub>2</sub> kibocsátású tömegközlekedési technológiák egyik lehetséges iránya a villamos hajtású buszok alkalmazása. Mivel a dízel üzemű flották lecserélése költséges és időigényes, világszerte felmerült az igény ezek elektromos üzeművé átalakítására. Azokban az esetekben, amikor egy autóbusz típust már sorozatban át lehet alakítani specifikusan ahhoz a típushoz készített alkatrész csomagokkal, az átalakítás megvalósítható egy új, gyárilag villamos hajtású busz árának akár 25-35%-ából [5, 6, 7, 8]. Az átalakítás során az eredeti, fosszilis alapú üzemeltető alkatrészek eltávolításra kerülnek, a felszabaduló helyre pedig beépíthető a villanymotor, az akkumulátorok, az inverter és az egyéb, ezek működését biztosító eszközök. A rendelkezésre álló hely megszabja ezek méretét, alakját, ezáltal kihatással lesz az átalakított busz menettulajdonságaira, hatótávolságára. A tanulmányban a kereskedelmi forgalomban beszerezhető, illetve villamos hajtásúvá átépített autóbuszok akkumulátorainak beépítési módjai kerülnek bemutatásra.

## 2. AKKUMULÁTOROK BEÉPÍTÉSI MÓDJAI

A kereskedelmi forgalomban megtalálható elektromos járművek akkumulátorainak beépítésére típusától függően legtöbbször háromféle megoldást alkalmaznak (2. ábra), de mindegyik módszer ugyanazon elven alapul. Az akkumulátor cellákból modulokat építenek, majd az adott járműhöz, illetve megtehető távolsághoz szükséges modul mennyiséget egy (esetleg két) akkupakkba helyezve, a biztonságot is szem előtt tartva tervezik meg azok alakját és elhelyezkedését.

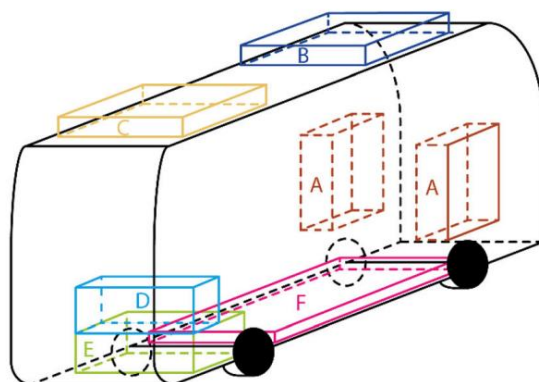


**2. ábra:** Elektromos járművek akkumulátorainak felépítése [9].

A személyautók esetén a leggyakoribb megoldás, az akkupakkok padlólemezen történő elhelyezése. Mivel a személyautók tervezési költségeinek legjelentősebb tétele a padlólemez tervezése, manapság a modulárisan változtatható padlólemezek az elterjedtek. Ebből adódóan egy padlólemez akár több tucat autótípus karosszériáját is hordozhatja. Az elektromos autók esetén is ez a helyzet, költséghatékonyság miatt a legtöbb autóban a nagyobb konszernek által fejlesztett padlólemezeket alkalmazzák (pl. a Volkswagen Csoport „MEB”, a BMW „LifeDrive” vagy a Nissan-Renault „Edison” terméke) [10].

A teherautók esetén a legjobban kihasználható tér az alváz mentén található, szinte kivétel nélkül itt történik az akkumulátorok elhelyezése.

Az autóbuszok esete ezektől eltérő, ugyanis többféle méretben, eltérő váztypussal készülhetnek, melyből adódóan a felhasználásuk is eltérő lehet. Bisschop és társai [11] közöltek egy tanulmányt elektromos járművekben bekövetkező nemkívánt események megelőzése tekintetében, melyben egy egyszerű ábrán bemutatták az akkumulátorok lehetséges elhelyezési módjait a villamos meghajtású buszokban. Ez látható a 3. ábrán.

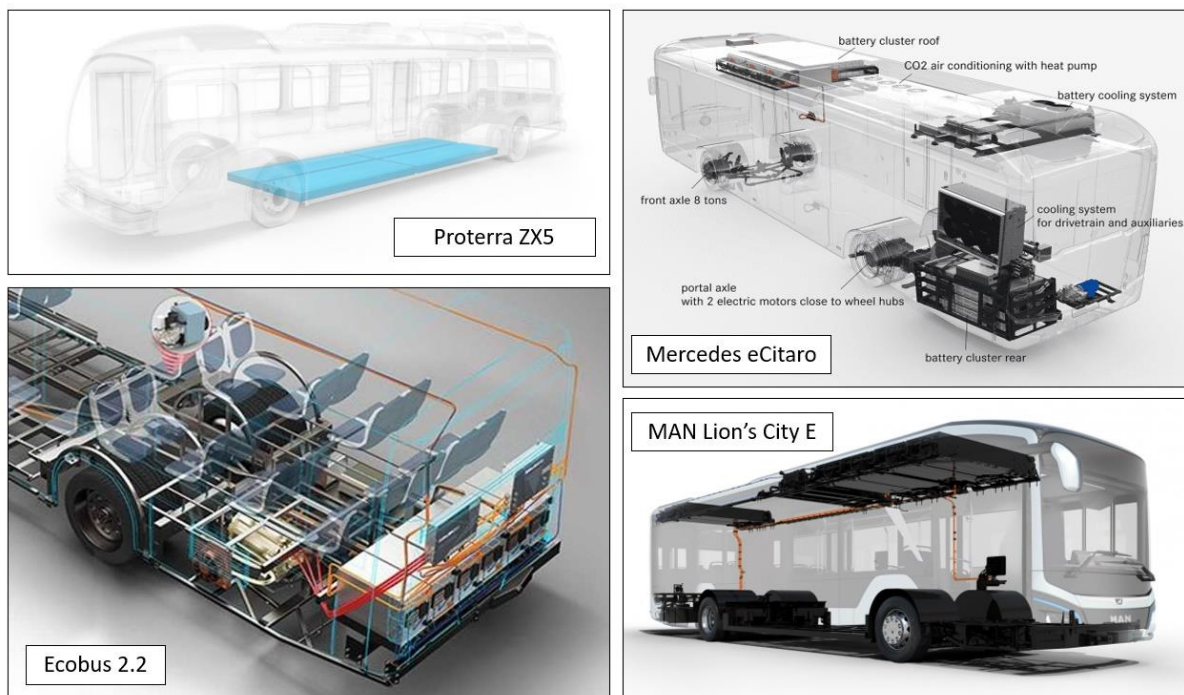


**3. ábra:** Elektromos hajtású buszok akkumulátorainak elhelyezkedése [11].

A 3. ábrán látható E és D elhelyezést elsősorban a hibrid hajtású buszoknál alkalmazzák, ilyen például a hibrid Mercedes eCitaro, ahol az akkupakk az első tengely előtt helyezkedik el. Az alacsony padlós kivitelek esetén az E és F jelű elhelyezés nehézkes lehet, de a busz tetőn



mind az első (C), mind pedig a hátsó részen (B), illetve az utastér hátsó szekciójában (A) történő elhelyezésre is található példát. A busz alsó részében, a tengelyek közötti elhelyezésre (F) elsősorban a magaspadlós távolsági buszok esetén van lehetőség. A leggyakoribb akkupakk elhelyezési pontokra mutat példát a 4. ábrán néhány kereskedelmi forgalomban beszerezhető busz rajza. A Proterra ZX5 akkupakkjai a busz alsó részében, az utasoktól elzárva az első és hátsó tengely között helyezkedik el, amely a tervezők szerint a legbiztonságosabb elhelyezési módja ezen eszközöknek [12]. A Mercedes eCitaro esetén az akkumulátorok a tetőn és a hátsó motortérben találhatóak, az Ecobus 2.2 akkupakkja a hátsó ülés mögött helyezkedik el, a MAN Lion's City E akkumulátorai pedig a tető első és hátsó szegmensében kaptak helyet.



4. ábra: Az elektromos autóbuszok akkupakkjainak elhelyezési lehetőségei [12, 13, 14, 15].

### 3. AKKUPAKKOK ELHELYEZÉSE ELEKTROMOSSÁ ALAKÍTOTT AUTÓBUSZOK ESETÉN

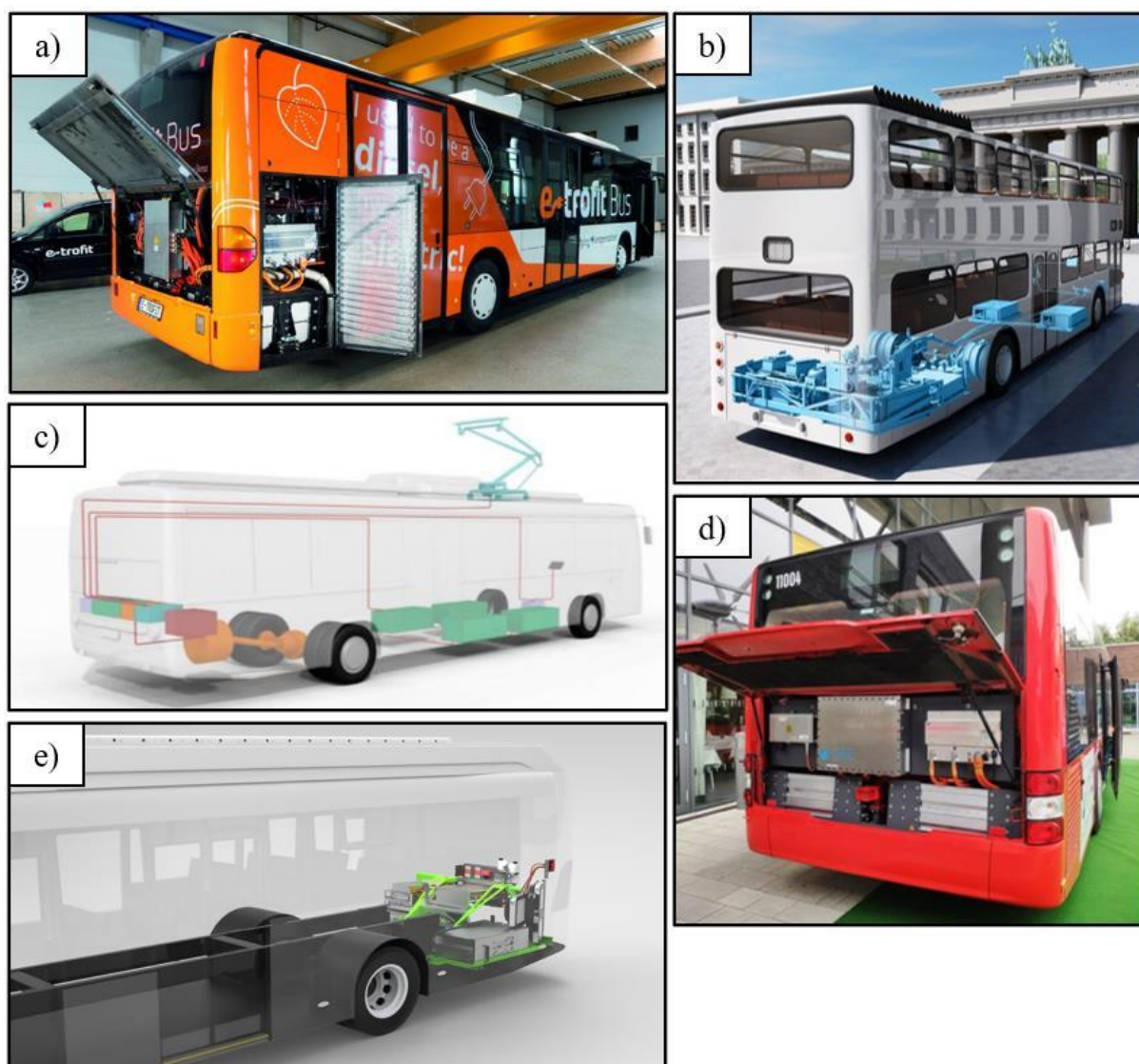
Több cég szakosodott a dízel autóbuszok elektromos meghajtásúvá alakítására. Az átalakítás nemcsak fenntartható, de beruházási és üzemeltetési költség szempontjából is lényegesen jobb megoldás lehet, mint az új elektromos buszok beszerzése.

Az elmúlt évek során több olyan jelentős buszátalakítási projekt látott napvilágot, melynek eredményeként kereskedelmi forgalomban is elérhetővé váltak átalakító csomagok bizonyos buszokhoz, melyek a következők.

Az ST Engineering és a finn elektromos busz gyártó cég, a Linkker közös együttműködésé-  
ként egy 12 m hosszú, 91 utas szállítására alkalmas MAN A22 típusú, dízel üzemű buszt alakít-  
tottak át. Az átalakítás főbb kritériumai az áramszedőn keresztüli gyorsöltés lehetősége és a  
minimum 48 km hatótáv volt, amihez 75 kWh kapacitás társult [16]. Az átalakítás eredmé-  
nyeként a Linkker elérhetővé tette a MAN A22 buszokhoz az átalakító csomagjait, mely 177 kWh  
akkupacitással rendelkeznek, és a 2-20 perces gyorsöltési ciklusok alkalmazásával napi 24  
órán át üzemeltethetők, elérve a 400 km hatótávolságot [17]. A következő példa a busz átal-  
akításokra a német e-Trofit cég, akik a Mercedes Citaro első generációjához készítettek átalakító  
csomagot, amely 250 km megtételére teszi alkalmassá a járművet. A jövőbeli igényeknek meg-

felelően tervezik további átalakító csomagok piacra bocsátását egyéb busz típusokhoz is, mely-lyel 2030-ig megcélozták 8000 db átalakítását [18]. Az „I see electric busses” nevű vállalat vezetésével egy MAN Lions busz átalakítására került sor, melynek engedélyeztetési folyama-tai zajlanak. Testvérvállalatuk az „I see electric trucks” már túl van 400 teherautó átalakításán, mintájukra tervezik a buszok átalakítását is rendszeresíteni [19]. A Tassima, egy berlini széke-lyű cég, amely több régi típusú városnéző és hagyományos városi busz átalakítását követően társaival célul tűzte ki a teljes berlini városnéző busz flotta villamos hajtásúvá átalakítását [19]. A Kleanbus első prototípusa, egy teljesen villamos hajtásúvá alakított 2007-es gyártmányú dí-zel Optare Solo busz 2023. áprilisában kezdte a tesztüzemét, amely alapján tervezik az átalakító csomagok forgalmazását [20]. Az Equipmake vállalat által piacra bocsátott ZED (Zero Emission Drivetrain) hajtásláncával számos egy és kétszintes busz villamos hajtásúvá alakít-ható, biztosítva a napi 200 km-nél is nagyobb hatótávot [21].

A fentebb ismertetett és átalakított buszok fényképe vagy modellje az 5. ábrán megtekint-hető.



**5. ábra:** a – az e-Trofit által átalakított Mercedes-Benz Citaro [22]; b – a Tassima egyik át-  
alakított városnéző buszának rajza [19]; c – a Linkker cég MAN A22 típusú buszhoz tervezett  
átalakító csomag részei [16]; d – az „I see electric busses” átalakított MAN Lions autóbusza  
[19]; e – a Kleanbus átalakító csomagja [8].



## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A karbonsemleges jövő eléréséhez a fosszilis üzemanyagot használó tömegközlekedési eszközök fejlesztése majd cseréje elengedhetetlen lesz. A városi tömegközlekedés jelentős része buszok segítségével zajlik, így az egyik járható út a villamos hajtású buszok rendszeresítése lehet. Általánosságban elmondható, hogy az új elektromos buszok beszerzési költsége nagy, közel duplája az új dízel üzemű buszokhoz viszonyítva, viszont egy több éves dízel üzemű busz ezen költség töredékéből villamos üzeművé átalakítható. Emiatt e tevékenységnek egyre nagyobb jelentősége lesz.

A villamos hajtásúvá alakított buszok esetén az alkatrészek motortérből történő eltávolításával jelentős méretű hasznosítható térfogat keletkezik, amely alkalmas az akkupakkok befogadására is. A kereskedelmi forgalomban fellelhető elektromos buszok esetén 300-400 kWh kapacitású akkupakkot is lehetséges elhelyezni a busz hátsó részében, amely egy feltöltéssel 250-300 km távolság megtételére teszi alkalmassá a járművet. Ezáltal egy villamos hajtásúvá átalakított busz a városi közlekedésre teljes mértékben megfelelővé tehető, ha bizonyos időközönként a rátöltés is megoldható, teljesértékű tömegközlekedési eszközként alkalmazható akár távolsági célokra is.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ANDERSON, D. A., ANDERSON, J.: *Electric and Hybrid Cars – A History. Second Edition.* McFarland & Company Inc., London, 2010.
- [2] Eurostat. Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home> (Megtekintve: 2023. 05. 18.)
- [3] A BKK számokban. 2023. Online: <https://bkk.hu/magunkrol/rolunk/a-bkk-szamokban/> (Megtekintve: 2023. 05. 18.)
- [4] MVK – Járműállomány. 2023. Online: <https://mvkzrt.hu/jarmuallomany> (Megtekintve: 2023. 05. 18.)
- [5] LY, S., WERTHMANN, E.: *8 Things to Know about Electric School Bus Repowers.* World Resources Institute. 023. Online: <https://www.wri.org/insights/repowering-electric-school-buses> (Megtekintve: 2023. 05. 18.)
- [6] LEWIS, M.: Here’s how this company turns diesel buses into electric buses. 2023. Online: <https://electrek.co/2023/01/12/heres-how-this-company-turns-diesel-buses-into-electric-buses/> (Megtekintve: 2023. 05. 18.)
- [7] The advantages of retrofitting school buses to fully electric. 2023. Online: <https://bisonev.com/advantages-of-retrofitting-school-buses-to-fully-electric/> (Megtekintve: 2023. 05. 18.)
- [8] PEAT, C.: Kleanbus unveils diesel to electric repower platform. 2022. Online: <https://www.busandcoachbuyer.com/kleanbus-unveils-diesel-to-electric-repower-platform/> (Megtekintve: 2023. 05. 15.)
- [9] SIMON, ZS.: CATL akkuval készül a Mercedes EQS. 2020. Online: <https://villanyautosok.hu/2020/08/06/catl-akkuval-keszul-a-mercedes-eqs/> (Megtekintve: 2022. 03. 15.)

- [10] SIMON, ZS.: Villanyautó padlólemezek A-tól Z-ig. 2020. Online: <https://villanyautosok.hu/2020/11/25/villanyauto-padlolemezek-a-tol-z-ig/> (Megtekintve: 2023. 05. 15.)
- [11] BISSCHOP, R., WILLSTRAND, O., ROSENGREN, M.: *Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events*. FIRE TECHNOLOGY Vol. 56 pp. 2671–2694. 2020.
- [12] Pretorra – Safety. Online: <https://www.proterra.com/vehicles/zx5-electric-bus/safety/> (Megtekintve: 2022. 02. 03.)
- [13] Batteries and Charging. Online: <https://www.ebusco.com/batteries-and-charging/> (Megtekintve: 2022. 01. 15.)
- [14] Az emissziómentes városi közlekedés már a kanyarban van Online: <https://www.vezess.hu/haszongepjarmu/2018/11/09/az-emissziomentes-varosi-kozlekedes-mar-a-kanyarban-van/> (Megtekintve: 2022. 02. 15.)
- [15] SSS <https://batteriesnews.com/battery-electric-bus-solutions-global-market-man-drives-forward-sustainable-mobility/>
- [16] MAN A22 Electric Bus conversion project. 2019. Online: <https://landtransportguru.net/man-a22-electric-bus/> (Megtekintve: 2022. 03. 25.)
- [17] Accelerating Emission Reductions: Linkker Diesel to Electric Bus Conversion Kits. 2020. Online: <http://www.linkkerbus.com/2020/press-release/accelerating-emission-reductions-linkker-diesel-to-electric-bus-conversion-kits/> (Megtekintve: 2022. 03. 25.)
- [18] e-troFit plans 8,000 buses to be converted to electric drives until 2030. 2020. Online: <https://www.sustainable-bus.com/news/e-trofit-plans-8000-buses-to-be-converted-to-electric-drives-until-2030/> (Megtekintve: 2023. 05. 15.)
- [19] Retrofitting instead of new-built: conversion from diesel to electric buses. 2019. Online: <https://www.urban-transport-magazine.com/en/retrofitting-instead-of-new-built-conversion-from-diesel-to-electric-buses/> (Megtekintve: 2023. 05. 15.)
- [20] See Kleanbus’ first prototype on the move. 2023. Online: <https://kleanbus.com/2023/04/17/see-kleanbus-first-prototype-on-the-move/> (Megtekintve: 2023. 05. 17.)
- [21] Equipmake: Retrofit. 2023. Online: <https://equipmake.co.uk/product-category/retrofit/> (Megtekintve: 2023. 05. 17.)
- [22] Electrifying! 2021. Online: <https://cbwmagazine.com/electrifying/> (Megtekintve: 2022. 03. 25.)

## VOLVO 7700 CNG TÍPUSÚ AUTÓBUSZ PNEUMATIKUS RENDSZERÉNEK FELTÁRÁSA

### EXPLORATION OF THE PNEUMATIC SYSTEM OF A VOLVO 7700 CNG BUS

**RÓNAI László**

PhD., egyetemi adjunktus, laszlo.ronai@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet, Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A cikk egy CNG üzemű Volvo 7700 típusú autóbusz pneumatikus, elektropneumatikus rendszerének feltárásával foglalkozik. Az elvégzett irodalomkutatás elsősorban a sűrített levegő előállításának módjaira, a trolibuszok pneumatikus rendszerének megismerésére összpontosít. Az átalakítandó busz sűrített levegős rendszerének vizsgálata megtörténik, amelynek eredményeképpen egy javaslattétel születik. Az elvégzett kutatómunka igyekszik hozzájárulni az elektromos rendszerű busz létrehozásához.

**Kulcsszavak:** pneumatika, elektropneumatika, kompresszor

**Abstract:** The article deals with the exploration of the pneumatic, electropneumatic system of a CNG-powered Volvo 7700 bus. The literature research focuses primarily on the methods of producing compressed air and describing the pneumatic system of trolleybuses. The compressed air system of the bus to be converted will be investigated, resulting in a proposal. The research work carried out tries to contribute to the creation of the bus with an electric system.

**Keywords:** pneumatics, electropneumatic, compressor

## 1. BEVEZETÉS

A sűrített levegővel működtetett berendezések történelme igen régre tekint vissza. Az elvet már az ókorban is alkalmazták fűtatóknál. Azonban csak az 1800-as évektől kezdődően használták a műszaki életben [1]. A 20. század közepétől az iparban több folyamatot is a sűrített levegős rendszerek segítségével automatizáltak. Kezdetben a tisztán pneumatikus rendszerek voltak jellemzőek, majd az elektromágnesek, relék segítségével a sűrített levegő által biztosított vezérlőközeget lecserélték elektromosra. Az elektropneumatikus rendszerek tehát elektromos vezérlő jeleket használnak a sűrített levegős munkavégző közeg megtartásával. Az 1980-as évek közepére a relés logikák helyett már egyre inkább a PLC-t tartalmazó vezérlések dominálnak az iparban.

Jelen cikk egy belsőégésű motort tartalmazó autóbusz pneumatikus rendszerének feltárásával foglalkozik, melyben a vizsgálat tárgyát képező jármű a közeljövőben elektromos üzeművé lesz átalakítva. Ehhez nélkülözhetetlen a busz pneumatikus, elektropneumatikus rendszerének vizsgálata, hogy mit érdemes, és mit nem érdemes megtartani a jövőbeni átalakításnál.

A cikk a következőképpen strukturált: a 2. fejezet fókuszál a buszokban történő sűrített levegő előállítására. A 3. fejezet kitér a trolibuszok pneumatikus rendszerére, azon belül is a kompresszorokra. Ez az áttekintés kiváltképp fontosnak mondható, mivel a fejlesztés tárgyát képező dízel / CNG üzemű autóbusz elektromossá történő átalakítása során a sűrített levegő előállítását már nem lehet megoldani a belsőégésű motor segítségével. A 4. fejezet a Volvo 7700 CNG típusú autóbusz elektropneumatikus rendszerét mutatja be, majd javaslatokat tesz a jövőbeni átalakításra vonatkozóan. Az összefoglalás tartalmazza az elért eredményeket, amelyek majd hasznosíthatók lesznek a fejlesztés során.

## 2. JÁRMŰVEKBE TÖRTÉNŐ SŰRÍTETT LEVEGŐ ELŐÁLLÍTÁSA

A sűrített levegő előállítását a kompresszorok oldják meg, amelyek a környezetben található atmoszféranyomású levegőt beszívják, majd villanymotorok vagy belsőégésű motorok segítségével sűrítik azt.

Kompresszorok kivitelét tekintve többféle érhető el a piacon, vannak az úgynevezett térfogatkiszorítással működő-, és vannak a turbókompresszorok. A járművekben elsősorban az autóbuszokra fókuszálva a legelterjedtebb a dugattyús kompresszor, mivel széles nyomástartományban használhatók, illetve nagy térfogatáram igényeket képesek kielégíteni. Autóbuszoknál a nagy teljesítményigényeknek köszönhetően nem léghűtést-, hanem többnyire vízhűtést alkalmaznak. A dízelüzemű buszok javarészt dugattyús kompresszorokat tartalmaznak, ezek meghajtása többnyire a motor főtengelyéről levezetett szíjtárcsával történik vagy a motorblokkhoz fogaskerékkel csatlakozhatnak.

Egy kompresszor esetében nemcsak a biztosított térfogatáram, teljesítményfelvétel lehet lényeges adat, hanem a fordulatszám, befoglaló méret, hűtési rendszer, zajszint, működési elv, és a fokozatszám [2]. A  $Q$  (elméletileg elérhető) térfogatáram szabályozásának alapvető megoldása történhet a fordulatszám változtatásával, mivel ismeretes:

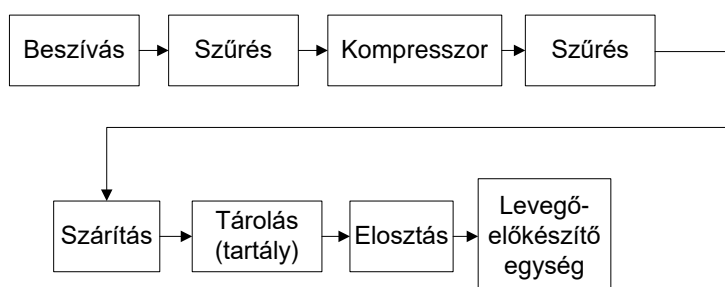
$$Q = V_g n, \quad (1)$$

ahol a  $V_g$  fajlagos munkatérfogat mellett megjelenik az  $n$  fordulatszám is. Ezen felül még történhet szabályozás a szívóvezetékbe építhető fojtóelemmel is, ezt pl. csúszólapátos kompresszoroknál alkalmazzák [2]. Lehet még szabályozást a szívószelep nyitvatartásával is kialakítani, ez dugattyús kompresszoroknál jöhet szóba.

Villanymotorral meghajtott kompresszorok esetében az egyik leggazdaságosabb szabályozási módszer az időszakos üzem fenntartása, amely azt jelenti, hogy egy megfelelően méretezett tartály megfelelő nyomásszintre történő feltöltésével a kompresszor lekapcsolható, és újból csak egy bizonyos nyomásszint alatt kell visszakapcsolni. A kapcsolójelet egy nyomáskapcsoló szelep szolgáltatja. Jól méretezett rendszerrel a [2] szerint a ki- és bekapcsolás között eltelt időnek nagyobbak kell lennie, mint 5 perc.

A kompresszor mellett szükséges még a levegőt szárítani is, mivel a sűrítés következtében víz fog kiválni. Többféle szárítási technika ismeretes, ezek az adszorpciós-, az abszorpciós-, és a hűtveszárító megoldások [1]. A sűrített levegő tárolására tartályok állnak rendelkezésre, amelyek fontos paramétere a térfogat, illetve a lehetséges maximális töltési nyomás.

A fogyasztók pl. szelepek, munkahengerek előtt történik a levegő további szűrése, illetve a munkanyomás beállítása nyomáscsökkentő szeleppel, valamint az olajködkenő által porlasztással történő kenése a mozgó alkatrészeknek. Mindezen feladatokat a levegőelőkészítő egység hivatott ellátni. Az 1. ábra tételesen mutatja, hogy egy autóbusz sűrített levegő előállításának milyen részei különíthetők el.

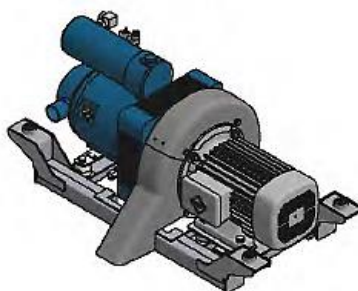


1. ábra: Sűrített levegő ellátásáért felelős elemek.

Ezután már rendelkezésre áll a sűrített levegő, hogy az adott egység, részegység működtetése megvalósulhasson. Egy autóbusz esetében ez jelenti az ajtók nyitását, zárását, illetve a légrugók feltöltését, valamint a légfékek működtetését.

### 3. TROLIBUSZOK PNEUMATIKUS, ELEKTROPNEUMATIKUS BERENDEZÉSEI

Megvizsgálva a BKV járatait érintő trolibuszokat kompresszorok vonatkozásában, a BRQ4/10/35 TFH típusú csúszólapátos/rotációs egységeket (lásd: 2. ábra) használják az IKARUS 412T, az IKARUS 435T, a GANZ-Solaris 12T buszoknál. A GANZ-Solaris GST12A típusú trolibusz is a BRQ4/10/35 TFH csúszólapátos kompresszort használja szakaszos üzem mellett. Ez a kompresszor 4 kW teljesítményű villanymotorral van szerelve, 10 bar üzemi nyomást tud biztosítani, térfogatárama 530 l/perc, a motor fordulatszáma 1450 ford./perc.



2. ábra: A BRQ4/10/35 TFH csúszólapátos kompresszor modellje [3].

Áttekintve a trolibuszok szükséges üzemi nyomását és légszállítását elmondható, hogy a régebbi trolibusz típusok kisebb üzemi nyomáson működnek, mint az újabb modellek [3], [4]. A légszállítás szempontjából elmondható, hogy egy kb. 500 l/perc térfogatáram igény mutatkozik.

Az [5] irodalom egy olyan eredetileg dízelüzemű autóbuszt mutat be, amelyet trolibuszá alakítottak. Az átalakítás első lépésében eltávolították az autóbuszból a nem releváns elemeket, úgy, mint a belsőégésű motort a hűtőrendszerével, a sebességváltót, valamint a kompresszort és hidraulikus szivattyút, és nem utolsósorban az üzemanyagtartályt. Az átalakítás során használt dugattyús kompresszornál meghibásodás jelentkezett, mivel a megengedett paraméterek közelében működtették. Ez a kompresszortípus egy másik trolibusztípusban (Jelcz) hibamentes szolgálatot tesz, azonban az ott alkalmazott beállításokhoz képest az átalakítás során az alábbi módosításokat hajtották végre: üzemi nyomás 15 %-os emelése, légszállítási igény megnövekedése, szakaszos üzem helyett folyamatos üzem üresjáratú időszakokkal stb. Különösen nagyon a kompresszorok tömeges meghibásodása volt tapasztalható, ezzel több trolibusz is átmenetileg kiesett a forgalomból. Emiatt más kompresszortípust és más hűtőventilátort voltak kénytelenek választani. A szerzők kiemelték, hogy a kompresszorokhoz használatos kenőanyag megfelelő kiválasztása is kulcsfontossággal bír.

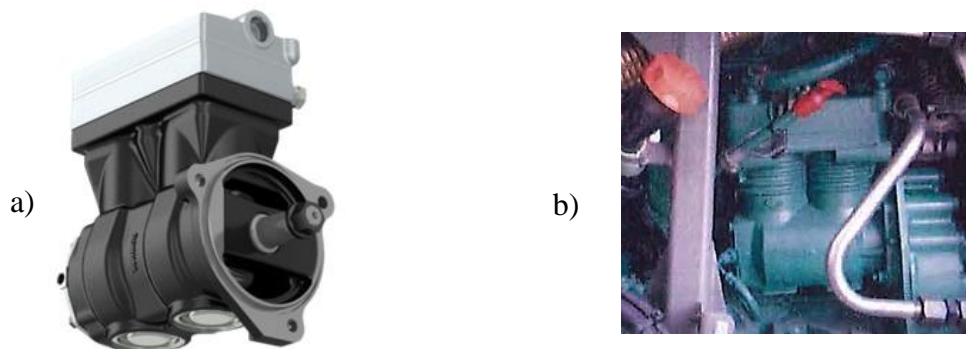
Ezen felül az [5] kiemeli, hogy a Szegedi Közlekedési Társaság 2004 és 2010 között 7 új trolibuszt épített az alábbi két belsőégésű motorral szerelt autóbuszból: Mercedes-Benz O530i, Volvo 7000. A visszajelzések pozitívnak bizonyultak, hiszen minimális meghibásodás volt tapasztalható. A Szegeden átalakított buszok közül az [5] képeket is bemutat, a főbb egységek elhelyezéséről.

Az alábbi felsorolás tételesen tartalmazza a trolibuszokban előforduló pneumatikus, elektropneumatikus egységeket, elemeket: kompresszor, szűrők, szárító, nyomásszabályozó elemek, amelyek lehetnek nyomáscsökkentő-, nyomáskapcsoló-, nyomáshatároló szelepek. További pneumatikus egységek közé tartoznak a munkahengerek (ajtónyitás, áramszedő mozgatása, fékhengerek), útváltószelepek, visszacsapószelepek, a vezetőlés pneumatikus állítása, léghengerek, szintezőszelepek, pneumatikus vezetékek, levegőelőkészítő-egység(ek).

#### 4. VOLVO 7700 CNG AUTÓBUSZ PNEUMATIKUS RENDSZERE

A BKV céggel konzultáció történt egy Volvo 7700 CNG üzemű szóló busz kapcsán. Ez alapján, illetve a rendelkezésre álló, elérhető internetes dokumentumokat felhasználva az elektropneumatikus rendszer feltárása megtörtént. A rendszerhez tartozó főbb elemek a következők: kompresszor, tartály, ajtómozgató egység, fékkör és légrugók.

A járműben egy WABCO 412704019 7 típusú ikerdugattyús kompresszor található, amely 12 bar üzemi nyomással, 14 bar maximális nyomással, 704 cm<sup>3</sup> munkatérfogattal rendelkezik, befoglaló mérete: 407 x 329 x 289 mm. Az egységnek vízűtése van, és az olajzása a motortérből megoldott. A 3. ábra mutatja az egység 3D-s modelljét és beszerelt állapotát.



3. ábra: a) WABCO ikerdugattyús kompresszor 3D-s modellje [6], b) a beszerelt állapot [7].

Az eredeti motor fordulatszám tartománya az 530-670 ford./perc aljárattól egészen 3500 ford./percig terjed (a [7]-ben közölt motordiagram alapján a gazdaságos fordulatszám intervallum 1100-1800 rpm között helyezkedik el), de nem ismeretes a motor főtengelye és a kompresszor közötti áttétel. Emiatt a kompresszor, buszban használt fordulatszám tartománya nem határozható meg pontosan. A hasonló buszokban 490-530 l/perc légszállítás a megszokott pl. [3], így a későbbiekben ezen értéket vesszük alapul.

Megjegyzendő [8] szerint, hogy a nagyobb légszállítási igényű rendszerek esetében a nagyobb teljesítményű kompresszor használata miatt, azokat szíjhajtás helyett fogaskerék-hajtással kapcsolják össze a belsőégésű motorral. Ezen kompresszorkialakítások a motorblokkhoz egy csatlakozó peremmel vannak felszerelve, így a kenőolaj és a hűtővíz átvezető nyílások is ki vannak alakítva. Emiatt a legnagyobb hátrány, hogy ezek a kompresszorok csak az adott belsőégésű motorhoz használhatók fel. A Volvo 7700 autóbuszok légkompresszora fogaskerék-hajtással kapcsolódik a dízelmotorhoz.

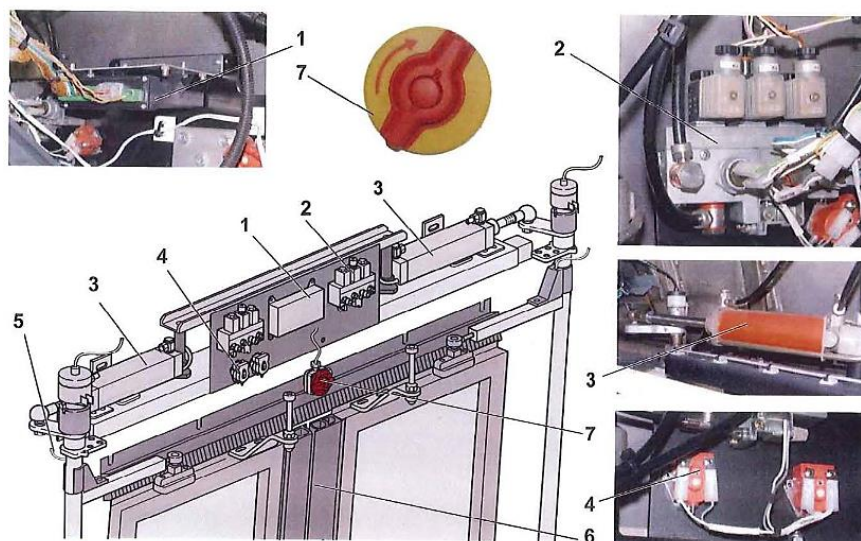
Több, egyenként 30 l térfogatú tartályok találhatóak az autóbuszban, amelyek az ablakok feletti térrészben kaptak helyet. A tartályok típusa: 20714522, maximális üzemi nyomás 13 bar (lásd: 4. ábra).



4. ábra: A sűrített levegő tárolására szolgáló tartály.



Az ajtómozgató mechanizmus részét képező munkahengereket, és az azokat működtető elektropneumatikus útváltószelepeket az 5. ábra szemlélteti. Az 5. ábra számozásával összhangban az alábbi egységek figyelhetők meg: 1) vezérlőáramkör; 2) elektropneumatikus működtetésű szeleptömb; 3) kétoldalról működtetett munkahengerek; 4) nyomáskapcsoló; 5) pneumatikus csövek; 6) ajtótömítés; 7) vészkapcsoló. Az elektromágnesek 24 V DC törpefeszültséggel üzemelnek.



5. ábra: Az ajtómozgatóhoz tartozó elektropneumatikus rendszer [7].

A fékkör és légrugók tekintetében a jármű összesen négy darab légrugót tartalmaz, továbbá a fékrendszere kétkörös.

#### 4.1. Javaslatétel az elektromos rendszerűvé átalakításhoz

Az eredeti kompresszor cseréje szükséges, mivel annak olajozása a belsőégésű motor teréből, illetve hűtése a motorkörrel volt megoldva. Helyette egy villanymotorral meghajtott, 490-530 l/perc térfogatárammal rendelkező kompresszort szükséges beszerezni, amely 12 bar üzemi nyomást állít elő pl. Ganzair BRQ 5.5/13/35 TF vagy ezzel egyenértékű más gyártótól beszerezhető e-kompresszor.

A BRQ 5.5/13/35 TF kompresszorhoz lehet kiegészítő modulokat kérni, úgy, mint a hőmérséklet figyelés, rögzítő keret kialakítás, fűtőbetét, zaj és rezgéscsillapítás. A berendezés szakaszos üzemművel rendelkezik.

A kompresszor kivételével a többi elektropneumatikus egységet nem szükséges cserélni, azok a buszon található 24 V törpefeszültségű hálózatról, illetve az új kompresszor segítségével működtethetők lesznek.

### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk röviden bemutatta a sűrített levegő előállítását összpontosítva a járművekre, majd a trolibuszok elektropneumatikus rendszerét, kiemelve a kompresszort. Ezután a cikk ismertette egy Volvo 7700 típusú, CNG üzemű busz pneumatikus rendszerét. Az irodalomkutatást követően két olyan javaslat is megfogalmazásra került, amelyeket célszerű az átalakítás során figyelembe venni. Az eredeti, belsőégésű motor által meghajtott kompresszort szükséges lecserélni, helyére egy villanymotorral meghajtott csúszólappátos egységet célszerű beépíteni. A



többi pneumatikus, elektropneumatikus elemet nem szükséges cserélni, azok továbbra is elláthatják a járművön belüli feladatukat.

A kutatási eredmények a közeljövőben esedékes buszátalakításhoz nagy segítséggel lehetnek a pneumatikus rendszerek tekintetében.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] HASEBRINK, B., J., P.: *A pneumatika alapjai*. Bosch Rexroth Kft., Erbach, 1991.
- [2] ELEK, I., HUDÁKY, J.: *Az ipari pneumatika alapjai*. INTERPRESS Kiadó és Nyomda, Budapest, 1979.
- [3] GANZAIR: *Forgólapátos kompresszorok vasúti és közúti alkalmazásokhoz*. katalógus, GANZAIR Kompresszortechnika Kft., Kiskunhalas, <http://www.ganzair.hu>, 2019. (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [4] ÁBRAHÁM, I.: *ZIU-9 típusismeret*. Budapest, 2010.
- [5] BARTŁOMIEJCZYK, M., DOMBROWSKI, J., POŁOM, M., WYSZOMIRSKI, O.: *Conversion of a Diesel Engine Bus into a Trolleybus*. ISBN 978-83-7531-176-1, 2012.
- [6] BRANDT: *WABCO Twin Cylinder Compressor*, műszaki rajz, diagramok, WABCO, [https://www.wabco-customercentre.com/catalog/hu\\_HU/4127040190?cartID=2009](https://www.wabco-customercentre.com/catalog/hu_HU/4127040190?cartID=2009). (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [7] VOLVO: *Informacja Techniczna – Volvo 7700 – Zeszyt studenta*. Tanfolyami anyag, GT2000233
- [8] KÁDÁR, L., VARGA, F., KŐFALUSI, P.: *Közúti járműrendszerek szerkezetana*. BME MOGI, 2014.

## MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ ÉS FELDOLGOZÓ PROGRAM FEJLESZTÉSE ELEKTROMOS BUSZ TESZTELÉSÉHEZ

### DEVELOPMENT OF MEASURING, DATA ACQUISITION AND PROCESSING PROGRAM FOR ELECTRIC BUS TESTING

**SZABÓ Norbert**

mesteroktató, norbert.szabol@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A tanulmány az elektromos busz teszteléséhez szükséges mérésadatgyűjtő- és feldolgozó program készítését mutatja be LabVIEW környezetben. A cél az elektromos meghajtásúvá átalakított, korábban CNG üzemű autóbusz tesztelésére alkalmas mérőrendszer kialakítása és mérésadatgyűjtő/feldolgozó programcsomag készítése. Ezen cikk az elkészült program első változatát mutatja be, amely fejlesztése jelenleg is zajlik.

**Kulcsszavak:** elektromos busz, LabVIEW, mérésadatgyűjtés, jelfeldolgozás

**Abstract:** This paper presents the preparation of the measurement data acquisition and processing program required for testing the electric bus in LabVIEW environment. The goal is to create a measuring system suitable for testing CNG-powered buses converted to electric drive and to create a measurement data acquisition/processing software package. This manuscript presents the first version of the program, which is currently being developed.

**Keywords:** electric bus, LabVIEW, measurement data acquisition, signal processing

## 1. BEVEZETÉS

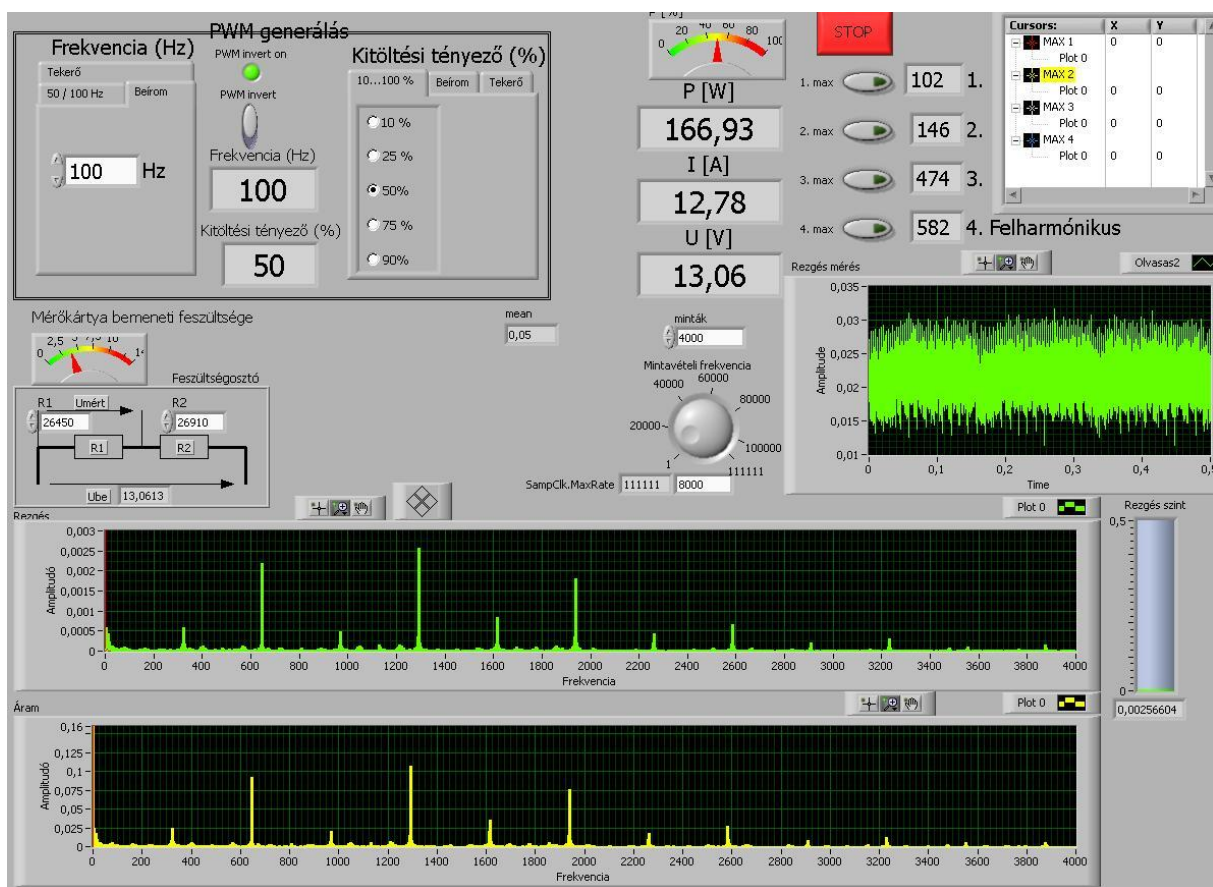
A projekt keretében egy CNG üzemű autóbusz elektromos meghajtásúvá kerül átalakításra. Ez meglehetősen sok kérdést felvető feladat, amely gondos tervezést igényel. Elsőként tanulmányoztam a busz villamos hálózatának dokumentumait. Tekintve, hogy az átalakítandó busz eredetileg CNG üzemű, így számos olyan villamos hálózati elem található a buszon, amelyekre a későbbiekben nem lesz szükség. Mivel már megkezdődött a busz szétszerelése, így a villamos hálózat is megbontásra került. Ez azt jelenti, hogy az új, nagyfeszültségű hálózat kiépítése során nem kell figyelembe venni a 24 Voltos rendszert, mert az is újratervezésre és teljes átalakításra kerül. A szétszerelés következtében jelen pillanatban kaotikus a meglévő hálózat állapota, így annak újratervezése nélkülözhetetlen.

A busz tesztelése során szükséges lesz mérőrendszerre, melynek kialakításán és fejlesztésén dolgozom. A mérési feladat egy elég összetett, amelyet igyekeztem, kisebb egységekre bontani. A projekt busz tisztán elektromos energiaforrásból fog működni. A busz dokumentumai alapján látható, hogy a busz saját tömege közel 10 tonna és a szállított személyekkel együtt 16 tonna felett is lehet. Ezen hatalmas tömeg gyorsítása, lassítása, illetve az egyenletes sebességgel történő mozgatása hatalmas energiát igényel. Ezt a fosszilis üzemanyag helyett, ebben a projektben akkumulátorokban tárolt villamos energia segítségével, illetve a szuperkondenzátorral kell megoldanunk. Esetünkben azon villamos energia mérése az egyik megoldandó feladatom, amit a busz elektromos hajtása, illetve a segédberendezéseinek fogyasztása jelent. Természetesen a buszvezető számára is van a buszban egy akkumulátorfelügyeleti rendszer BMS (Battery Management System), amely tájékoztatja a sofőrt, az akkumulátor töltöttségéről, és a még megtehető távolságról. Ezek az adatok az akkumulátor feszültségére, hőmérsékletére és a körben folyó áram nagyságára tér ki. Ezek szabványos illesztő felületeken kinyerhetőek a busz kommunikációs rendszeréből. Az általam fejlesztendő mérőrendszer, viszont egy sokkal mélyebb vizsgálatra ad lehetőséget. Természetes erre a buszvezetőnek vezetés közben nem lesz szüksége, de

a busz tesztelése során számos érdekességre deríthet fényt. Célom egy olyan mérőrendszer létrehozása, amely nem a BMS-ből kapott adatokra hagyatkozik, hanem önálló mérési pontokkal rendelkezik. Természetesen a végső cél ugyanaz, hogy a felhasznált energiát nyomon tudjuk követni és minél pontosabb becslést tudjunk adni az akkumulátorok töltöttsége alapján a hátralévő menetidőről. Illetve lényeges szempont, hogy lássuk azt az útszakaszt, amely nagyon megterheli az akkumulátor-csomag töltöttségét, és az esetleges spórolásra milyen lehetőségek állnak rendelkezésre. Lényeges, hogy a működése során milyen terepen fog haladni a busz, hiszen részben ez fogja befolyásolni a fogyasztását, a második legjelentősebb energiafelhasználó a busz klímaberendezése lesz. Elsőként viszont a rendszer labor körülmények közötti tesztelése a feladatam.

## 2. MÉRŐRENDSZER FEJLESZTÉSE - ELŐZMÉNYEK

Mivel korábbi kutatómunkám során már dolgoztam egyenáramról üzemelő motort vizsgáló projektekben, az a tapasztalatom, hogy az egyenfeszültség előállítása, átalakítása, felhasználása során különböző felharmonikusok jelenhetnek meg a felvett áramjelben. Ezek okozhatnak különböző problémákat. Elsőként a mérésekre koncentrálnék, hogy pontosan lássuk a buszban kialakított rendszer áram és feszültség jelalakját. Ezután láthatjuk min érdemes, vagy szükséges változtatnunk, merre érdemes folytatni a fejlesztést. Ezen gondolatok alapján, a mérendő feszültség és hőmérséklet szenzorok adatai mellett a motor áramát is mérné a mérőprogram. A programot számítógépes környezetben készítem el, amely mintavételezi az adott szenzorok jeleit [1, 2]. Az elkészített szoftver kezelői felületét az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A program kezelői felülete.

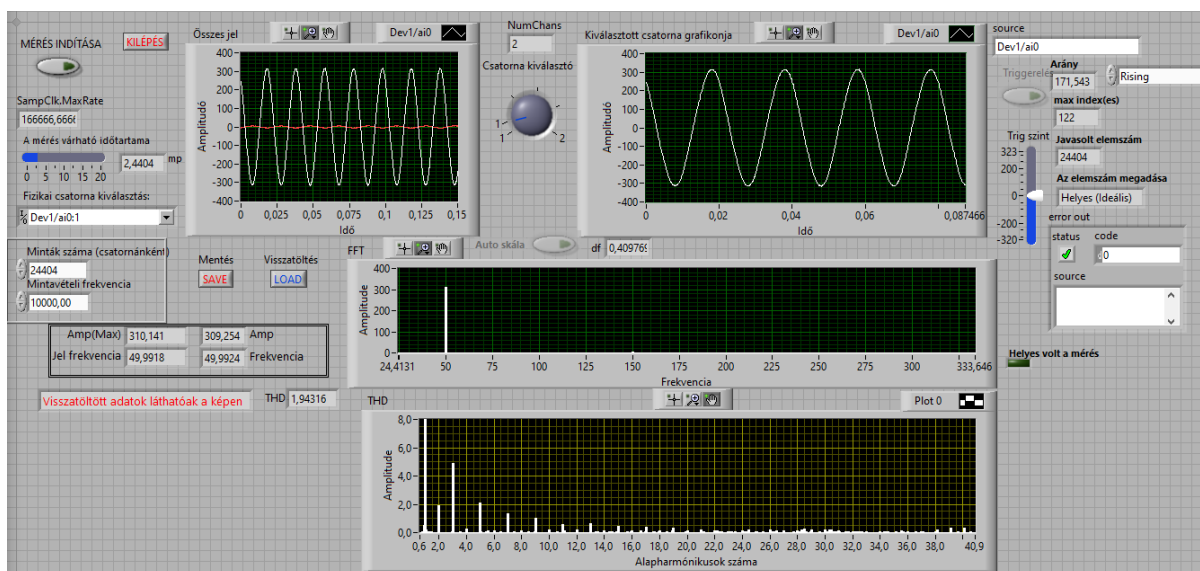
A feszültség jelalakot egy feszültség osztón keresztül mérem. A hőmérsékletet egy PT100-as hőmérő jelének feldolgozásával kapom meg. Az áram jel viszont külön figyelmet érdemel, mert a nagyfeszültségű akkumulátor-csomag, az inverter, a villamosmotor, valamint a 24 Voltos rendszer töltésére szolgáló DC-DC konverter meghatározza a mindenkori áram nagyságát. Ezt az áramot egy (Chauvin Arnoux E6N) lakatfogó segítségével mérem [3]. A feldolgozó programot úgy alakítom ki, hogy ezt az áram jelet nagy mintavételi frekvenciával (is) tudjam mérni. Természetesen tudva azt, hogy a felharmonikus tartalom mérésének az eredményét befolyásolja a mérésre fordított idő! Ezért a program tartalmaz egy külön mérési blokkot az optimális mérési frekvencia megállapításához, amely a figyelembe veendő felharmonikusok száma alapján szabadon állítható.

A programban azért szükséges a nagy mintavételi frekvencia, hogy az áramjelben található esetleges releváns felharmonikus tartalmat fel lehessen fedezni. Ezen adatok természetesen a BMS-ből nem lennének kinyerhetőek. A program kialakításánál Fourier feldolgozás segítségével határozom meg a mért jelben lévő felharmonikus tartalmat [4].

A próba teszt során egy 12 V-os motorral teszteltem a program működését és az akkumulátor-csomagot pedig egy Sorensen DCS40-30E típusú egyenfeszültségű tápegységgel helyettesítettem (max. 40 V és 30 A). Természetesen a maximális áram duplázzható két párhuzamosan kapcsolt tápegység használatával. A program feldolgozza a mért motor mechanikai rezgéseit is, amelyek látható módon szépen összhangban van a felvett áram felharmonikus tartalmával.

### 3. MÉRŐSZOFTVER FEJLESZTÉSE – IRREÁLIS ÉRTÉKEK ELKERÜLÉSE

Az elsőként elkészült programverzióban számos felhasználói szintű hibát vettem észre, amelyek ugyan nem befolyásolják a program működését, de zavaróak lehetnek, ezért szükséges volt ezek kiküszöbölése. Elsőként azt oldottam meg, hogy a mért mennyiségek esetén, ne lehessen a kezelői felületen irreális értékeket megadni, a program használata során. Így a két mérési paraméter, a mintavételi frekvencia és a mintaszám beállítását lekorlátoztam. Ezek mellett a mért csatornák megadása is lehet helytelen. Ezen vezérlőkön bevitt adatokat szeretném, hogy a program azonnal ellenőrizze és helytelen érték esetén rögtön korrigálja helyes értékre (2. ábra).



2. ábra: A program módosított kezelői felülete.

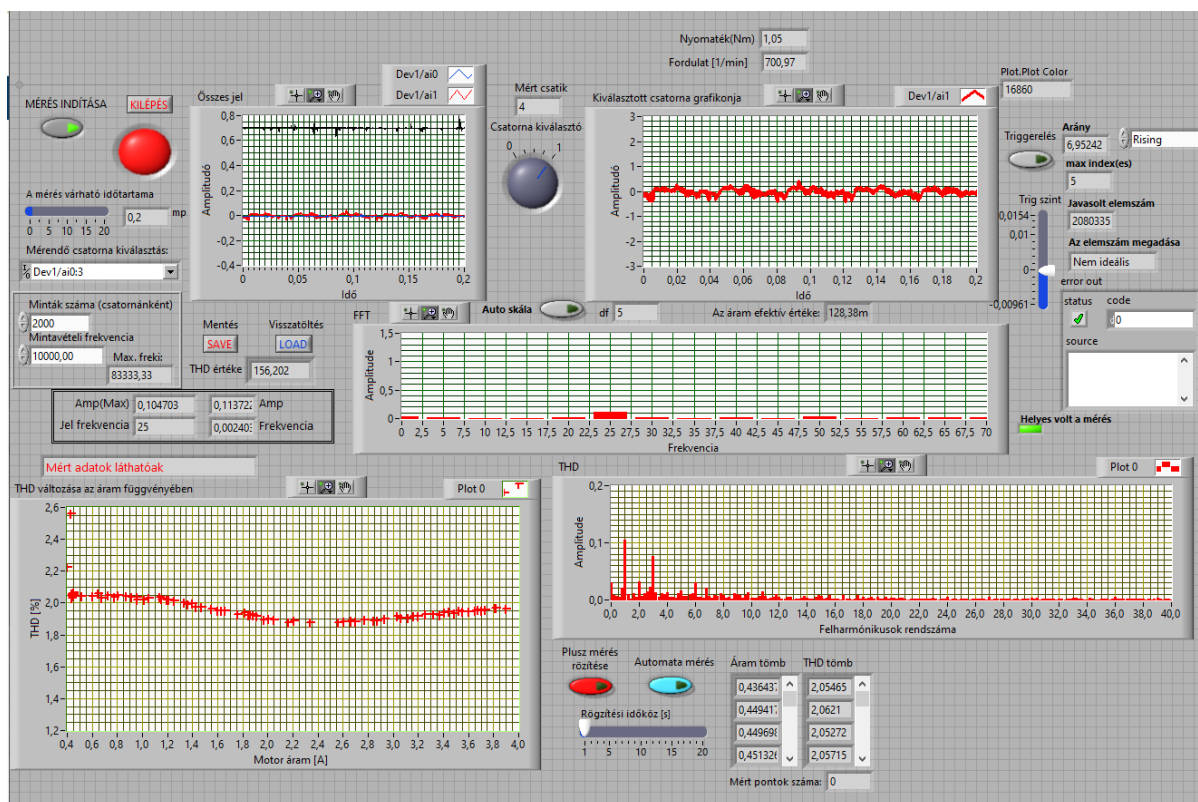
Az egyes csatornákon rendelkezésre álló mintavételi frekvencia természetesen a mérendő csatornák számával csökken, így működés közben ezt is figyeli a program. A rendelkezésre álló frekvenciatartomány 333 KHz. Előreláthatólag 4 csatornán szeretnénk mérni, így 83,3 kHz-el

tudunk gazdálkodni minden csatornán. A mérés során 50 Hz-es frekvenciájú motort vizsgáltam, amelynek a 40. felharmonikusáig kellett mérni a teljes harmonikus torzítását (THD). Természetes mivel törekszünk a helyes eredményre ezért a Shannon törvényt betartva mintavételezünk. Így csak addig növeljük a mintavételi frekvenciát amíg az szükséges, hogy a legmagasabb frekvenciájú összetevőből (40. felharmonikus) is minimum 2 mintát vegyünk periódusonként [5].

Ezek mellett megoldottam az első mérési csatorna triggerelését, így a mérés mindig ugyanannál a jelszintnél indul el. Továbbá a mért frekvencia alapharmonikusának a kijelzése is fontos feladat, amely a mért adatok alapján történik meg. A mérés során a program a mérési paraméterek optimalizálását is elvégzi.

Mivel a mintavételi frekvencia módosítása a mérés helyességét is befolyásolja, ezért a program azt változatlanul hagyja, és a mintaszám változtatásával próbálja optimalizálni a mérési eredményt. Ha ez a két mérési paraméter nem megfelelő akkor az ún. sátrasodás jelenséget tapasztaljuk az eredmény, azaz a frekvencia spektrumon valótlan értékek jelennek meg.. Ezt a program figyeli és ha a maximális frekvencia melletti komponensek is nagyok, a mintaszám módosításával javít a végeredményen. Ezt addig ismétli amíg a mérési hiba a programban beállított érték alá nem csökken. A program amérés várható ciklus idejét is automatikusan lekorlátozza, hogy megfelelő gyakorisággal frissüljön a kimenet [6].

A program következő verziójánál arra törekedtem, hogy mind a 4 mért adat mérését megoldjam. A mért áram és feszültség csatornái külön-külön is megvizsgálhatóak, amelynél megoldottam, hogy a kiválasztott csatorna színe is harmonizáljon az FFT és a THD% grafikonokon látott értékek színével. A két újonnan csatlakoztatott csatornát, a nyomatékokat és a fordulatszám adatot is kezeli a program. Ezen két új mérési csatorna esetén, nincs szükség Fourier analízisre, csakis a ciklusidő alatt mért adatok átlagértékével kell figyelembe venni a mért adatokat. Ezek után már szükségessé vált az egyes mérési eredménypárok grafikonon történő ábrázolására. A 3. ábrán a motor árama és a hozzá tartozó torzítás (THD%) értékek változásai láthatóak.



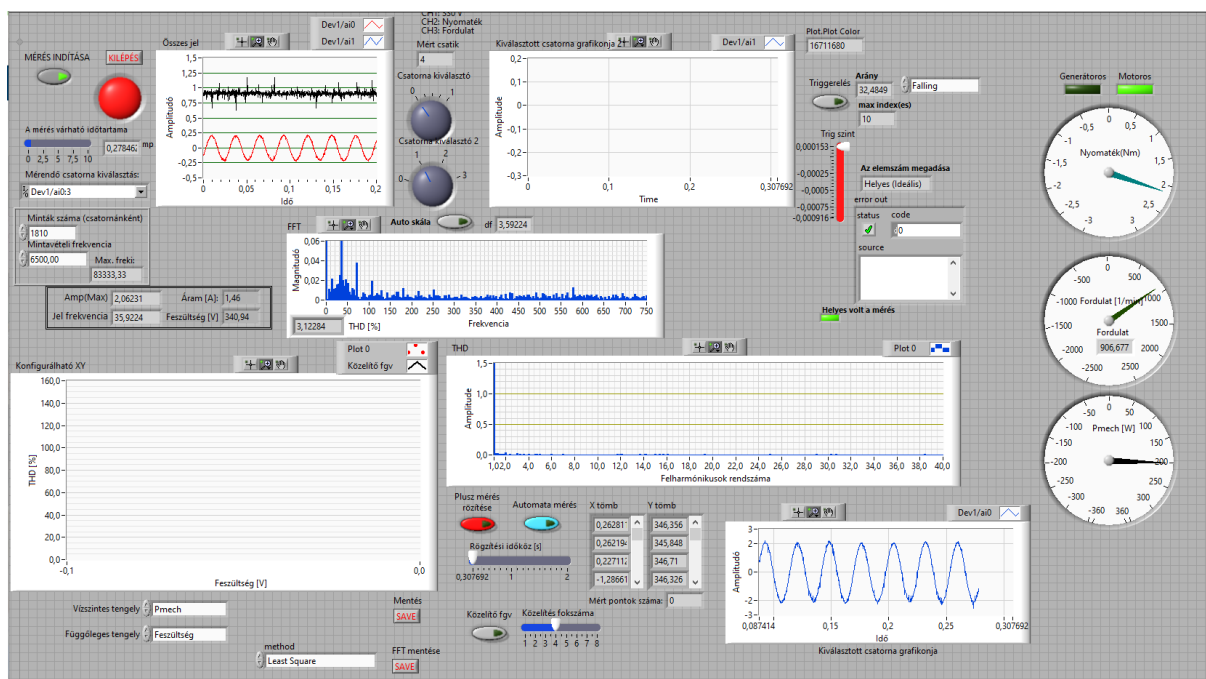
3. ábra: Automata mérést tartalmazó program.



A program az automata mérés gomb megnyomására elkezd rögzíteni a mért eredménypárokat, és azt a bal alsó grafikonján mutatja a felhasználó részére. Az automata rögzítés kikapcsolása után további mérési pontok utólagos felvételére is van lehetőség.

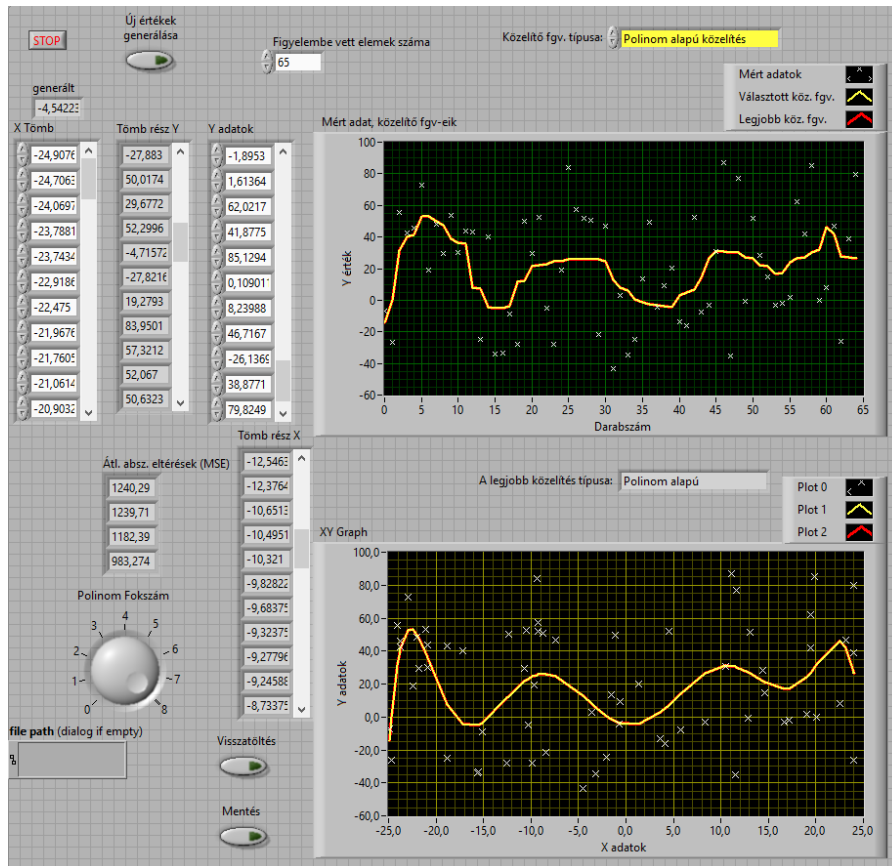
#### 4. A MÉRŐSZOFTVER TESZTELÉSE

A további tesztek során felmerült az igény arra is, hogy bármely két paramétert egymás függvényében tudja ábrázolni a program. Így bővíteni kellett ezzel a funkcióval is a programot, ami a felhasználó döntése alapján rendelte össze a grafikonon megjeleníteni kívánt adatokat. Ezen mérési pontokra néhány esetben ideális lenne közelítő függvényt illeszteni. Ez az igény viszont újabb problémát vetett fel, mivel a közelítő függvény számítás esetén az x tengely adatainak sorban kell lenniük. Ez viszont az utólagosan bekerült mérési pontok esetén szinte biztosan nem teljesül (4. ábra).



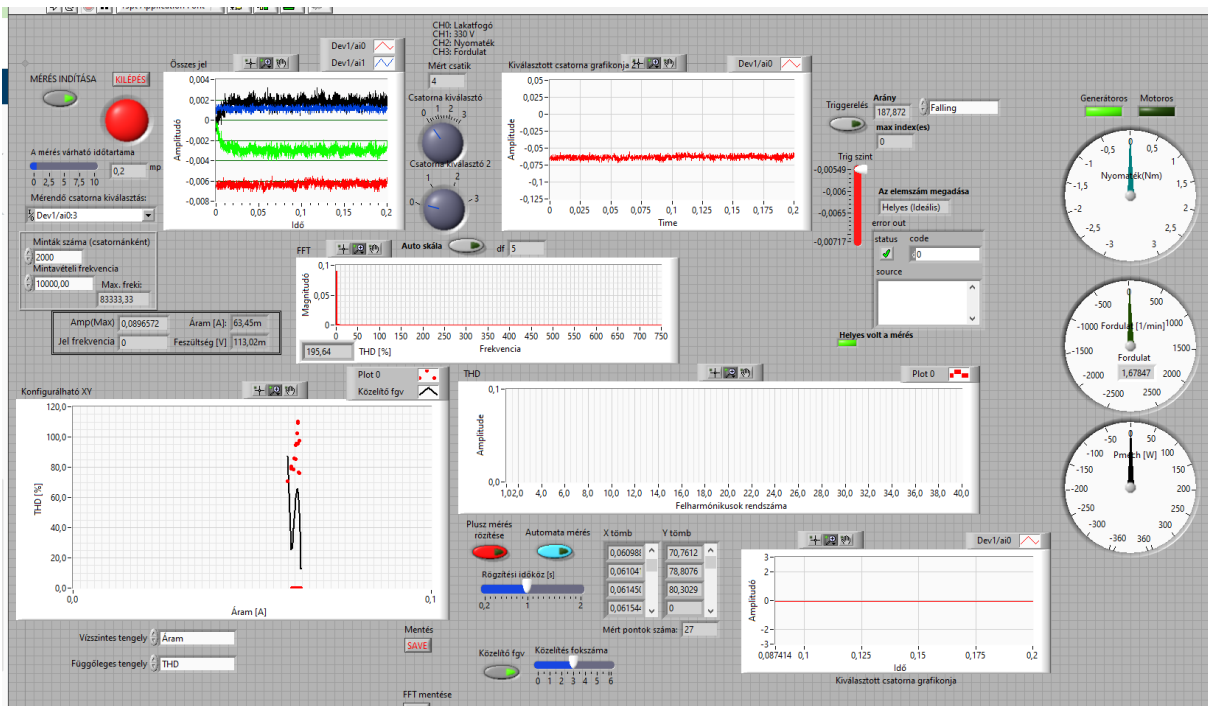
4. ábra: Szabadon beállítható az XY grafikon tengelyeinek adatai.

Ezen probléma megoldására egy különálló programot készítettem és véletlenszerűen előállított adatokkal teszteltem a generált pontok függvényében a közelítő függvény viselkedését. Azt tapasztaltam, hogy a közelítő függvény fokszáma függ a generált pontok számától. Tehát ha nincs sok adatkörünk akkor a közelítő függvény fokszáma sem lehet magas. Néhány száz mérési pont után viszont a közelítő függvény fokszáma nem mehet hatodfokú közelítés felé. Tehát a közelítés fokszámát 36 elem után 6-od fokúként lehetne maximalizálni, de azt tapasztaltam, hogy az elemszám növekedésével a magasabb fokszámú közelítő függvény kisebb hibával közelítette a generált pontokat. Tehát a mérőprogramban a közelítő függvény fokszámát a felhasználó szabhatja meg, a lineáris (elsőfokú) közelítéstől a magasabb fokszámú közelítő függvényekig. A program figyel arra, hogyha a közelítő függvény fokszámának növelésével az átlagos hibák négyzetösszege (MSE) megnőne, akkor annak a felhasználó általi beállítását már nem engedélyezi. Tehát a közelítő függvény fokszámának maximuma a mért adatkörök függvényében dinamikusan változik (5. ábra).



5. ábra: Polinom alapú közelítés próba programja

A mérőszoftver következő verziójában az áram mérés került az első helyre, mivel erre a csatornára tud a rendelkezésre álló adatgyűjtő kártya triggerelni (időzített mérést indítani). Ezek mellett a mért adatok mentését is megoldottam. Így lehetőség nyílt az adatok Excel, MATLAB vagy más programokkal való kiértékelésére is (6. ábra).



6. ábra: Helyes közelítő függvény diagramja.



A program a nyomaték és fordulatszám adatok alapján a mechanikai teljesítményt is számolja és ezen adatokat a felhasználó számára a mérés közben ki is jelzi. Illetve azt is, hogy motoros, vagy generátoros-e az aktuális terhelési állapot. Az első két csatorna esetén az áram és a feszültség adatok mérése során lényeges, hogy az alapharmonikust pontosan megtaláljuk (mérjük), ezért a program a grafikon pontjainak felvétele során folyamatosan korrigálja a mérés idejét, azaz a mért elemszámot, hogy a mért jel alapharmonikusát mindig a lehető legpontosabban meg tudja határozni.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányban bemutatásra került az elektromossá átalakított busz tesztelésére szolgáló mérésadatgyűjtő- és feldolgozó program első változata. A program működőképességének vizsgálata laboratóriumi körülmények között zajlott. Az első tesztelések során számos észrevétel fogalmazódott meg, így azok mentén kezdtem el a feltárt hibák korrigálását és a program fejlesztését. Az elkészült program első funkcionális tesztjei alapján elmondható, hogy egy, a célra alkalmas program került kidolgozásra.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZABÓ, N.: *Méréstechnika elektronikus jegyzet*. Letölthető a [www.electro.uni-miskolc.hu/~elkszabo](http://www.electro.uni-miskolc.hu/~elkszabo) honlapról.
- [2] ZOLTÁN, I.: *Méréstechnika*. Egyetemi tankönyv. Műegyetemi Kiadó. 1997.
- [3] National Instruments, LabView, <http://www.ni.com/labview/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [4] Data Acquisition Handbook, Measurement Computing Corporation, 2012. Third Edition. <http://www.mccdaq.com/pdfs/anpdf/Data-Acquisition-Handbook.pdf> (Megtekintés dátuma: 2023. május 22.)
- [5] Friedl, G.: *LabVIEW segédlet*. p. 38. [http://maxwell.sze.hu/~friedl/Szab%C3%A1lyoz%C3%A1si\\_rendszerek/LabVIEW%20seg%C3%A9dlet.pdf](http://maxwell.sze.hu/~friedl/Szab%C3%A1lyoz%C3%A1si_rendszerek/LabVIEW%20seg%C3%A9dlet.pdf) (Megtekintés dátuma: 2023.05.03.)
- [6] MINGESZ, R., GINGL, Z.: *Mérés és adatgyűjtés laboratóriumi jegyzet*. SZTE. 2014. p. 109.

# BELSŐÉGÉSŰ MOTORRAL SZERELT ÉS ELEKTROMOS MEGHAJTÁSÚ SZEMÉLYSZÁLLÍTÓ BUSZOKON ALKALMAZOTT FŰTÉSI ÉS HŰTÉSI MEGOLDÁSOK

## HEATING AND COOLING SYSTEMS OF CITY BUSES WITH INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND ELECTRICAL MOTOR

**SZASZÁK Norbert**

PhD., egyetemi docens, norbert.szaszak@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,  
Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

**Kivonat:** A dolgozatban bemutatásra kerülnek a személyszállító buszokon alkalmazott, elsődlegesen az utastér fűtésére és hűtésére szolgáló technológiai megoldások mind hagyományos, belsőégésű motorral hajtott, mind pedig elektromos meghajtású járművek esetén. Az egyes rendszerek felépítése mellett röviden azok üzemét és hatékonyságát is bemutatjuk. Az akkumulátorral szerelt elektromos buszok esetén alkalmazható ellenállásfűtés és hőszivattyús fűtés előnyeinek és hátrányainak bemutatására is kitérünk.

**Kulcsszavak:** utastér fűtés, klimatizálás, gőzkompreszió, hatótáv

**Abstract:** In this paper the heating and air conditioning technologies applied on city buses driven both with internal combustion engine and electric motor are presented. Besides the setup of these systems the operation and the effectiveness are presented in brief as well. The advantages and disadvantages of heating with resistive heating and with heat pump are presented in case of electric buses equipped with battery pack.

**Keywords:** passenger compartment heating, air conditioning, steam compression, range

## 1. HAGYOMÁNYOS, BELSŐÉGÉSŰ MOTORRAL SZERELT JÁRMŰVEK UTAS-TÉR-FŰTÉSI RENDSZERE

Már az 1940-es évektől kezdődően megindult olyan egységek fejlesztése és gyártása, amelyek a belsőégésű motorok hulladékhőjének hasznosításával fűtötték az utasteret. Ezek még lemezből készült, vízcsöves hőcserélők voltak, amelyeket még csak a magasabb felszereltségű, drágább járművekbe építették be (pl. Mercedes és BMW). A folyadék-levegő hőcserélőket buszok esetén vagy az ülések alatt, vagy pedig az alsó, illetve a felső légcsatornákban helyezik el. Ezek mellett pedig még az ajtók felett is található ilyen hőcserélők, amelyek segítségével meleg légfüggönny alakítanak ki, amely megakadályozza, hogy nyitott ajtó esetén a környezetből hideg levegő áramolhasson a busz utasterébe. A hőcserélőkben a motor által felmelegített hőhordozó közeg (hűtőfolyadék, ami ebben a vonatkozásában fűtőfolyadék) kering, amelyet buszok esetén kiegészítő keringtető szivattyú is keringtethet. Az utastéri hőcserélők közül léteznek természetes konvekciós készülékek, de sok esetben kényszerkonvekciót alkalmaznak a nagyobb teljesítményű hőleadás érdekében, amelyhez ventilátorokkal keringtetik a hőcserélőn átáramoltatott levegőt.

A hűtőfolyadékkal üzemelő fűtőberendezésekkel szemben számos követelményt támasztanak, amelyek közül néhány fontosabb:

- a belsőégésű motor hűtőrendszere egy hőcserélőn keresztül adja át a szükséges hőmennyiséget az utastér levegőjének,
- az utastér hőmérsékletét szabályozhatóvá kell tenni, amely például szelepek beépítésével valósítható meg,
- a fűtőrendszer működtethető legyen a belsőégésű motortól függetlenül is,

- az utastér a túlmelegedés ellen védett kell, hogy legyen: ennek egyik megoldása egy szelep beépítése. Amikor a hőhordozó folyadék hőmérséklete elér egy felső küszöbértéket, a keringtető szivattyú leáll.

A folyadék hőhordozó közeges fűtésnek számos előnye van:

- a folyadék közeg nagy hőkapacitása miatt relatíve kis keresztmetszetű csövek alkalmazhatók,
- egyenletes hőleadás biztosítható az egész utastérben,
- a belsőégésű motor által szolgáltatott hulladék hő hasznosítható, így az hasznos energiává válik,
- a hőmérséklet szabályzás igen pontosan megvalósítható.

Számos esetben szükséges a belsőégésű motortól független fűtőberendezés alkalmazása, amely egyébként a belsőégésű motor hűtőköréhez is csatlakozhat. Az ilyen készülékkel szemben több elvárás is megfogalmazható:

- az indítástól rövid időn belül, nagy hatásfokkal nagy teljesítmény leadására legyen képes,
- legyen minél kompaktabb a kialakítása, így minél egyszerűbb a beépítése, az ára legyen kedvező.

Különböző típusú fűtőanyaggal üzemelő berendezéseket fejlesztettek ki a különböző igényekre (benzines, gázolajos, bioetanolos), azonban a buszok esetén leginkább a dízelolaj üzeműek terjedtek el, mivel így nem volt szükség külön üzemanyagtartály beépítésére. Az ilyen berendezések kipufogórendszerébe még katalizátort is építettek, amely segítségével jelentősen csökkenthető a károsanyag-kibocsátásuk. Mindegyik fajta fűtőberendezésből különböző teljesítményűt gyártanak, amelyekkel így széles teljesítménytartományt fednek le. A felmelegített közeg szerint léteznek közvetlenül az utastér levegőjét melegítő (Airtronic) és folyadékfűtő (Hydronic) típusú fűtőkészülékek is. Az 1. ábrán egy buszok számára kifejlesztett fűtőkészülék látható. [1]



**1. ábra:** Buszok számára kifejlesztett nagyteljesítményű fűtőegység [1].

A Hydronic fűtőkészülék továbbfejlesztését követően nagyobb teljesítményű, gazdaságosabb, jobb hatásfokú, továbbá csendesebb lett elődjeitől. A fűtőkészüléknek a motor hűtőrendszerébe történő bekötése sorosan és bypass-ágba is lehetséges. Soros bekötésnél a fűtőkészülékkel közvetlenül a motor hűtőköre is előmelegíthető, ezért ebben az esetben megszűnnek a hidegindítási problémák, továbbá csökken a motor kopása is. Bypass-rendszerben történő bekötés esetén a készülék a motort és az utastér is egyszerre fűti. Abban az esetben, ha a fűtőkészülék nem üzemel, úgy a motor hűtőfolyadéka kis áramlási veszteség mellett jut az utastéri hőcserélőbe, így az utastér fűtése ebben az esetben is megoldott. Mivel a városi buszoknál gyakran számolhatunk alapjáratú üzemmellel (pl. megállóknál, piros lámpánál), a belsőégésű mo-

tor keringtetőszivattyújának alacsony fordulatszáma mellett is biztosítani kell a megfelelő fűtőfolyadék-szállítást az utastérben, ezért kiegészítő keringtetőszivattyú is található a fűtési körben. Így a fűtőközeg áramoltatása akár leállított belsőégésű motor mellett is megoldott. [1]

## 2. ELEKTROMOS ÜZEMŰ SZEMÉLYSZÁLLÍTÓ BUSZOK UTASTÉR-FŰTÉSI RENDSZERE

Az elektromos busz üzemelésének egyik legnagyobb energiaigényű része az utastér fűtése/hűtése. A hagyományos autóbusz klímaberendezések 30-45 kW maximális teljesítményűek, amely teljesítmény jelentősen csökkenti az akkumulátorok hatótávra szolgáló energia-hányadát. A jellemző átlagos villamosenergia felhasználás 1-3,5 kWh/km, ennek jellemzően akár a 30%-a is a hűtés/fűtés biztosítására fordítható [2]. E jelentős hányad csökkentése miatt jelentek meg az elektromos buszok elterjedésével együtt a jóval gazdaságosabb, s így kisebb energiaigényű, jó hatásfokú hőszivattyús hűtő-fűtő készülékek, amelyek azonban összetettségük miatt jelentős beruházási költséggel bírnak.

Amennyiben ilyen berendezést nem kívánunk a buszba beépíteni, úgy más megoldást kell választani az utastér fűtésére. Belsőégésű motorral nem szerelt buszok esetében egyértelmű, hogy nem lehet kalkulálni a motor által termelt hulladékhővel, így a busz utasterének és sofőr-fülkéjének teljes hőigényét más megoldással kell biztosítani. Az egyik megoldás nem más, mint a hagyományos, belsőégésű motorral szerelt buszoknál is használt, tüzelőanyaggal működő fűtőkészülékek beépítése. Ez egyébként igen elterjedt megoldás az elektromos buszok körében, hiszen az elektromos buszok több mint 40%-a alkalmazott tüzelőanyag-alapú fűtőrendszert 2019-ben. [3]

Csak a tisztán villamos elven működő fűtési megoldások jöhetnek szóba, amennyiben külön tüzelőanyag nélküli fűtési megoldást kívánunk alkalmazni. Ezek közül az egyik az ún. nagyfeszültségű PTC fűtőberendezés, amely kiváló hatékonyságú (legalábbis a villamosenergia hőenergiává történő átalakítása esetén közel 100%-os). Ez a megoldás az ellenállásfűtésen alapul, ahol is a PTC=Positive Temperature Coefficient, azaz pozitív hőmérsékleti együtthatót jelent. Az egység a felfűtése kezdetén a kis elektromos ellenállás miatt nagy teljesítményfelvételt, azonban ez a teljesítményfelvétel folyamatosan csökken a hőfok emelkedésével. Ez a megoldás a villamos energia közel 100%-át tudja hőenergiává alakítani, azonban ugyanez elmondható az összes ellenállás-fűtésről. Egy ilyen típusú, 8 kW teljesítményű folyadékfűtő modul látható a 2. ábrán. Ennek üzemi feszültsége 24V, teljes tömege csupán 2,7 kg. E megoldás nagy hátulütője a hőszivattyús rendszerekhez viszonyított alacsony, „csupán” közel 100%-os hatásfoka.



2. ábra: PTC típusú, 8 kW-os teljesítményű elektromos fűtés [4].

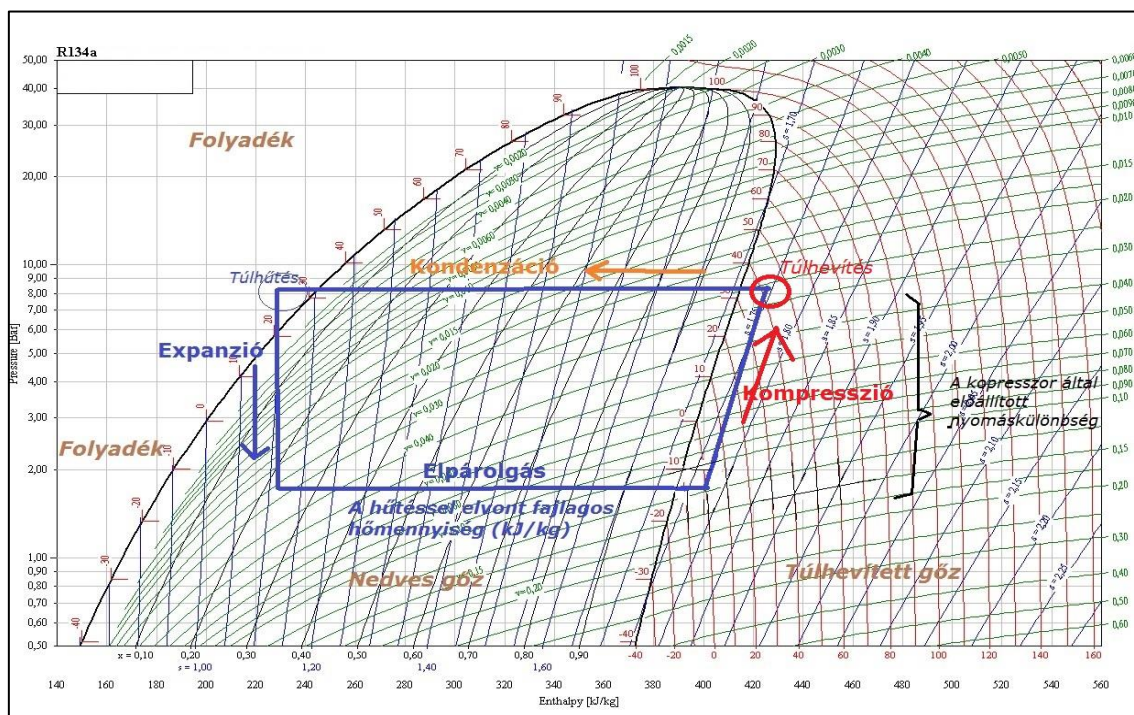
Ettől jóval nagyobb hatásfok érhető el hőszivattyú alkalmazásával, amely az egységbe bevezetett egységnyi villamos energia hatására kimenetként, azaz az utastér fűtésére annak többszörösét tudja szolgáltatni. Ennek alapján egyértelmű, hogy azonos fűtési teljesítmény-igény mellett jelentősen csökkenthető a villamosenergia-felhasználás egy hőszivattyús rendszerrel.

Ezt az előnyét azonban ellensúlyozza a magas beszerzési költsége, amely miatt számos elektromos buszban mégis hagyományos energiahordozó égetésével állítják elő a megfelelő fűtési teljesítményt. Mivel ezek a hőszivattyús rendszerek lényegében két irányban működő klímaberendezések, így a működésüket a klimatizálás témakörénél részletezem.

### 3. HAGYOMÁNYOS, BELSŐÉGÉSŰ MOTORRAL SZERELT JÁRMŰVEK KLÍMA-RENDSZER-MEGOLDÁSAI

A nyári hónapokban már elvárás a buszok utasterének megfelelő mértékű hűtése, s a levegő páratartalmának csökkentése. E célt szolgálják a klímaberendezések, amelyek segítségével az utastérben egyébként kialakuló magas hőmérsékletű és magas páratartalmú levegő kondicionálható az emberek, utasok komfortérzetének megfelelően. Ehhez úgynevezett hőszivattyú berendezéseket alkalmaznak, amelyek a belső tér levegőjének hőjét a külső környezetbe továbbítják. Az ilyen berendezések a klímaberendezések. Ezek tehát hőszivattyú körfolyamatot valósítanak meg, amely lényegében nem más jelent, mint egy alacsonyabb hőmérsékletű közegből energiát elnyerni és azt egy magasabb hőfokú közegbe juttatni. Ez a folyamat magától nyilvánvalóan nem jöhet létre (termodinamika: a hő /magától/ mindig a magasabb hőfok felől áramlik a kisebb hőmérsékletű hely irányába), ehhez tehát külső energiabefektetés szükséges. Ezt az energiát a „hagyományos” kompresszoros klímaberendezések esetén forgómozgással, tengelyen juttatják el a kompresszorhoz, amely forgási energia belsőégésű motorok esetén közvetlenül a motor főtengelyéről szíjhajtással, egy elektromos kuplungon keresztül vehető le, vagy elektromos buszok esetén elektromotor szolgáltatja a szükséges forgási teljesítményt.

A hőszivattyú körfolyamatban munkavégző/hőszállító közeget szükséges alkalmazni, amely közeg fázisátalakuláson megy keresztül a körfolyamatban, azaz gőz- és folyadékfázisba is átalakul. A járművekben (buszokban) leggyakrabban használt közegek a következők: szén-dioxid (R744), 1,1,1,2-tetrafluoretán (R134a), vagy 2,3,3,3-tetrafluorpropén (R1234yf), (Tetrafluoretán 52% / difluor-metán 23% / pentafluor-etán 25%) stb. Az R134A típusú közegre vonatkozó hőszivattyú körfolyamat az *entalpia-nyomás* állapotos ábrán ábrázolva a 3. ábrán tekinthető meg.



3. ábra: R134a közeggel üzemelő hőszivattyú körfolyamat [5].



A körfolyamatban a kompresszor működtetéséhez szükséges relatíve nagy mértékű energia, amely tulajdonképpen a körfolyamat mechanikai munka igénye. A kompresszor összenyomja a túlhevített gőz állapotban lévő közeget, amelynek kezdeti hőmérséklete a hűtendő tér hőfoka alatt van, de a komprimálást követően a hőleadó oldal hőmérséklete (a külső környezet) felett lesz. A magas hőmérsékletű gőz a hőcsere révén folyamatosan lekondenzál a buszon kívül, annak tetején elhelyezett kondenzátorban, így cseppfolyós halmazállapotba kerül, miközben energiája jelentős részét a környezet felé adja le. A cseppfolyós közeg ezt követően egy fojtószelepen halad keresztül, aminek hatására expandál, s ismét gőzzé (most nedves gőzzé) alakul, de hőfoka jelentősen csökken. Az így nyert igen alacsony hőmérsékletű, nagy nedvességtartalmú gőz ezt követően az utastéri hőcsereelőbe (elpárologtatóba) jut, ahonnan hőt vesz fel, ezzel hűtve az utasteret. A hőfelvétel következtében ismét túlhevített gőz állapotba kerül a közeg, tehát visszajut a kompresszor előtti állapotába, s újraindul a körfolyamat.

A klímaberendezések lényegi részei közül egyedül a kompresszor az, ami a motortérben helyezkedik el (ez lehet: csavar, dugattyús, bolygódugattyús, centrifugális vagy spirál kialakítású), onnan a hűtőközeg csővezetékén keresztül jut el és vissza a busz tetején elhelyezett klímaberendezésbe. Emeletes buszok esetén a tetőre már nem szerelhető fel klímaberendezés a magassági korlátozások miatt, ezért ilyen esetekben az egységet a busz hátuljába építik be.

A tetőre helyezett klímaberendezés egyszerűsége abban rejlik, hogy a hőcsereelővel előállított alacsonyabb hőfokú levegő az utastér felső részén kialakított légcsatornákhoz közvetlenül kapcsolódik, az integrált befúvóventilátorok juttatják a levegőt a légcsatornákra keresztül az utastér különböző részeibe. Ilyen megoldású klímákat gyártanak többek között: Eberspacher-Sütrak, Thermo King, Spheros, Hispacold, Carrier, Guchen stb. Az integrált egységekbe egyébként ezek a gyártók a piacon külön-külön megtalálható ventilátorokat, hőcsereelőket, szelepeket építik össze. Amennyiben nem megoldható, hogy az integrált egység a busz hossz tengelyének közepére kerüljön, úgy érdemes terelőlemezeket beépíteni, hogy a levegő-elosztás egységes legyen.

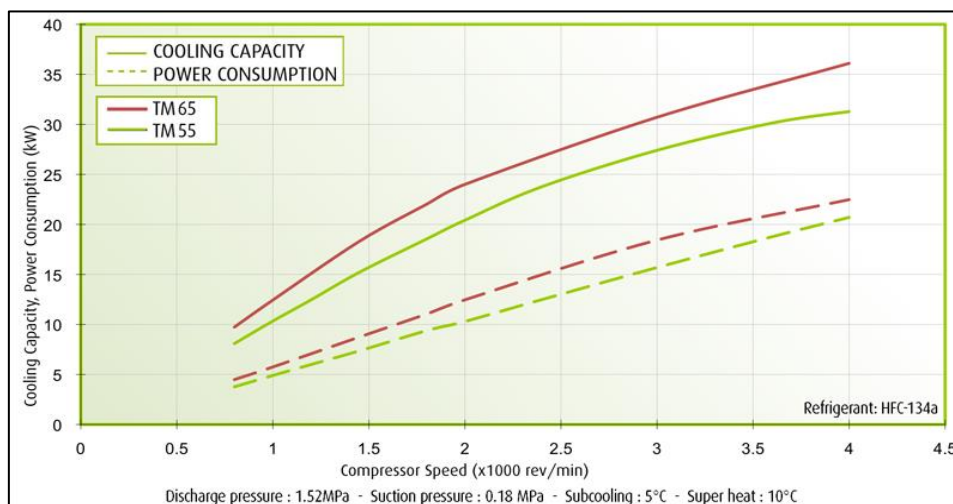
Amennyiben többtagos, csuklós buszok klimatizálását kell megoldani, úgy osztott tetőegységeket alkalmazhatnak. Ezek közül csupán az egyik kültéri egységben található kondenzátor (környezet felé hőleadó), a másik tagban pedig csak az elpárologtató található meg a befúvó ventilátorokkal együtt. Ennek a megoldásnak az az előnye, hogy a kompresszor-kondenzátor kör rövidebb lehet, amelynek áramlási szempontból kedvezőbb a kialakítása, s kedvezőbb a rendszer határfoka. Ebben az esetben létezik egy szekunder kör, ami a kondenzátoros egység és az elpárologtató egység között található. Az ilyen kialakítások esetén gondosan meg kell tervezni a működési paramétereket, hogy az utastér minél egyenletesebben hűthető legyen mindkét tagban.

A 4. ábrán egy Modulo M168d típusú buszba épített Valeo TM 55/65 típusú bolygódugattyús kompresszorral hajtott klímarendszer teljesítmény-fordulatszám függvénye látható.

Az ábra alapján belátható, hogy mind a két kompresszor esetében közel lineárisan nő a felvett tengelyteljesítmény a fordulatszám függvényében, tehát a kompresszor nyomatéka közel állandó. Ezek mellett talán fontosabb észrevétel, hogy az adott üzemi körülmények között a hűtési teljesítmény (folytonos görbe) jóval nagyobb, mint a felvett teljesítmény (szaggatott görbe). Ezt egyébként a COP tényezővel szokták megadni, ami a hűtött térből „kiszivattyúzott” hőteljesítmény és a rendszer működéséhez biztosított bemeneti teljesítmény aránya. Maximális, 4000/perces fordulatszám esetén a TM65-ös kompresszor közel 22 kW teljesítményt vesz fel, azonban a hűtési teljesítmény ekkor 35 kW körül alakul, ez 1,6-es COP-nek felel meg. Azonban a városi buszok esetében a fordulatszám igen széles határok között, és időben igen gyakran változik, tehát a hűtési teljesítmény igencsak ingadozó (helyközi járatok esetén ez sokkal egyenletesebb), így a hűtőközeg áramlásának folyamatos szabályozása szükséges. Városi használat esetén az idő jelentős részében alapjáraton üzemel a belsőégésű motor, amelyet a működő



klímakompresszor jelentősen terhel. Ez negatívan befolyásolja a motor hatásfokát és kibocsátását is.



4. ábra: Valeo TM 55/65 kompresszoros klímaberendezés tengelyteljesítmény-igénye és hűtési teljesítménye a fordulatszám függvényében [6].

Nagy különbség tehát a belsőégésű és az elektromos motorral szerelt buszok között az, hogy a klímaberendezés kompresszorát milyen megoldással hajtják meg. További különbség még az is, hogy a hagyományos buszok esetében a rendelkezésre álló hulladékhővel megoldható a busz fűtése, azonban elektromos buszok esetén ilyen hulladékhőt egyedül az akkumulátortelemek és a meghajtó motor termel, de ennek hasznosítása üzembiztonság szempontjából nem releváns.

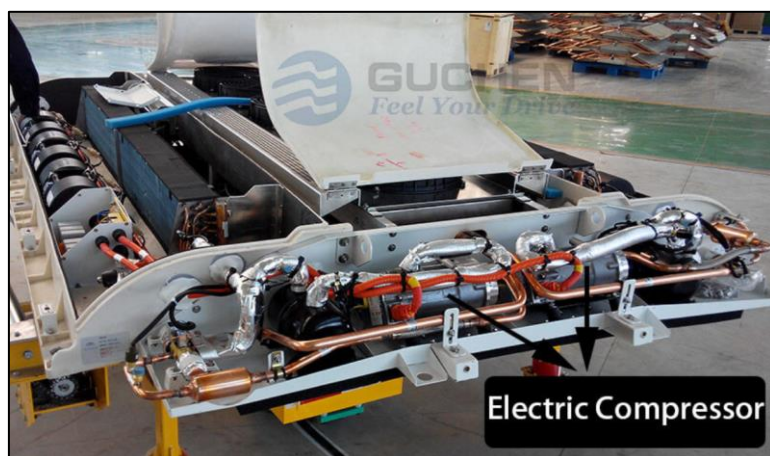
#### 4. ELEKTROMOS ÜZEMŰ SZEMÉLYSZÁLLÍTÓ BUSZOK KLÍMARENDSZER-MEGOLDÁSAI

Az akkumulátoros energiaellátású, elektromotorral szerelt buszok esetén az előbbiektől valamelyest eltérő felépítésű klímaberendezést kell alkalmazni. Ennek első és legszembetűnőbb oka az, hogy a belsőégésű motor helyett alkalmazott elektromos motornak nincs alapjárata, az lényegében olyan kompakt egységet alkot a hajtással, hogy az elektromotorhoz nem lenne beépíthető a klímakompresszor. Továbbá alapjárat nélkül nem lenne meghajtva a kompresszor sem, tehát nem működne a klímaberendezés. Éppen ezért az elektromos buszok esetén a kompresszor meghajtásáról külön kell gondoskodni. Ebből a célból elektromos motort alkalmaznak, amelyet az erre a célra fejlesztett klímaberendezésekben egy hermetikus házba integrálnak a kompresszorral, így nem alakulhat ki hűtőközeg-szivárgás a kompresszor tengelye mellett. Ettől az eltéréstől eltekintve egyébként közel megegyező a klímarendszer felépítése a hagyományos, belsőégésű motorral szerelt buszokhoz viszonyítva.

További eltérés a belsőégésű motor hulladékhőjének hiányából adódik: amikor az utasteret és a sofőrfülkét fűteni kell, akkor nem állna rendelkezésre ez a hőmennyiség. Ez pótolható lenne szimplán elektromos fűtéssel (ellenállásfűtés), azonban ez a megoldás jelentősen csökkenthetné a jármű hatótávolságát. Ettől a megoldástól – a hatótáv növelését figyelembe véve – jobb megoldás a hőszivattyús rendszer, amely voltaképp nem más, mint egy fűtőüzemben használt klímaberendezés. Így tehát adódik az a nyilvánvaló megoldás, hogy elektromos buszok esetében olyan klímaberendezést célszerű alkalmazni, amely nem csupán hűtési, hanem fűtési feladatot is el tud látni. Ezek az úgynevezett hőszivattyús klímaberendezések. Itt fontos megjegyezni, hogy a hőszivattyús klímaberendezés szóösszetétel csupán a közönség, laikusok számára kitálat, jól eladható fogalom, hiszen minden klímaberendezés egy hőszivattyú. A körfolyamat irá-

nyának megfordíthatósága az egyedüli különbség: egy elektromos buszon alkalmazott berendezés esetén megfelelő szelepek segítségével megváltoztatható a hűtő/fűtőközeg áramlásának iránya olyan módon, hogy a komprimált közeg fűtőüzem esetén nem a külső, hanem az utastérhez tartozó hőcserélőbe jut, így ott történik meg a kondenzáció, s a külső hőcserélőben pedig az elpárolgás. Így tehát olyan hőcserélőkkel kell szerelni ezeket a berendezéseket, amelyek alkalmasak a megfelelő nyomások elviselésére, továbbá megfelelőek mind kondenzátorként, mind pedig elpárolgatóként történő üzemre is.

Amennyiben nem elvárás a klímaberendezéstől a fűtésre való alkalmasság, úgy több gyártó is megtalálható a piacon, akik kifejezetten elektromos buszokhoz készítenek ilyen egységeket. Ezek a berendezések olcsóbbak a hűtő/fűtő üzemre alkalmas társaiktól, azonban ilyen esetben szükséges egy külön fűtőkörrel/fűtőegységről is gondoskodni. Elektromos fűtés esetén nagymértékben csökkenhet a hatótáv, tüzelőanyaggal üzemelő berendezés esetén pedig megfelelő üzemanyagtartály és -ellátórendszer, továbbá kipufogórendszer beépítése is szükséges. Ilyen, csak hűtési célokat szolgáló berendezés például a Guchen (Kína) ES-06 típusú berendezése, amely tisztán villamosenergiával üzemel. A berendezés burkolat nélküli tető-egysége az 5. ábrán látható.



**5. ábra:** Tetőre szerelhető, Guchen gyártmányú villanymotor meghajtású kompresszoros klímaberendezés [7].

Ennél a megoldásnál maga a klímakompresszor és az azt hajtó villamos motor is a tetőegységbe van integrálva, ezzel egy kompakt rendszert létrehozva. A hűtőközeg ennél a berendezésnél R407c típusú, és összesen 5,2 kg tömeg szükséges belőle. A villamosteljesítmény felvétele 10 kW, azonban a hűtési teljesítménye 32 kW, tehát az adott üzemi körülmények között 3,2-es COP értéket produkál a rendszer. A fűtés is megoldható ezzel a berendezéssel: 30 kW-os villamos fűtőegységgel is felszerelhető az egység. A kompresszort meghajtó motor inverterrel vezérelt, így mindig az igényelt teljesítménynek megfelelő fordulatszámmal üzemeltethető, továbbá a rendszer CAN kommunikációval rendelkezik.

Léteznek tehát olyan klímaberendezések is kifejezetten elektromos buszokhoz, amelyek mind a hűtési, mind a fűtési hőigényt ki tudják szolgálni. Ezekre egy példa a Konvekta gyártmányú UltraLight 500/700EM CO<sub>2</sub> HP típusú klímaberendezés. Ez a gyártó szerint igen környezetbarát megoldás a jó hatásfokának köszönhetően (hűtőközeg: CO<sub>2</sub>, azaz R744), továbbá alkalmas egyidejű hűtésre és fűtésre (például az akkumulátorok hűtése közben fűti az utastert). A legnagyobb teljesítményű berendezés 30 kW hűtési teljesítményű, továbbá a fűtési módban pedig a külső környezeti hőmérséklettől függően a következő teljesítményekkel tudja fűteni az utastert: 14,3 kW (-20°C); 19,3 kW (-10°C); 22,1 kW (0°C). Már léteznek ilyen klímaberendezéssel szerelt buszok a forgalomban is, például a Solaris Urbino 18 IV kéttagú csuklós busz esetén mindkét tag tetején elhelyeztek 1-1 UltraLight 500 típusú klímaberendezést. Megfelelő

környezeti paraméterek mellett a fűtésre hasznosított hőenergiának csupán a 25%-át veszi fel a rendszer az akkumulátorokból, tehát a maradék 75%-ot a környezetből nyeri. Így tehát a COP értéke 4, amellyel valóban egy hatékony, a hatótávot kevésbé csökkentő rendszer valósítható meg.

## 5. ÖSSZEFOGALÁS

Az előzőekben bemutatott fűtési és hűtési rendszerek sokfélesége alapján látható, hogy a hagyományos, belsőégésű motorral szerelt buszok esetében a hulladék hő elérhetősége miatt jó közelítéssel a hatótáv csökkenése nélkül oldható meg az utastér fűtése, így egyedül a motor tengelyéről hajtott kompresszorral üzemeltetett klímarendszer teljesítményigénye fogja csökkenteni egy ilyen busz hatótávját, annak átlagfogyasztásának növelésén keresztül. Ezzel szemben az elektromos hajtású buszok esetében mindenképp szükséges egy dedikált fűtőberendezés beépítése, amely lehet – alacsony bekerülési költségű – egyszerű ellenállásfűtés, ám ez jelentősen csökkenti a hatótávot; vagy alkalmazható hőszivattyús fűtés, amely a hatótáv kisebb mértékű csökkentése mellett képes ugyanakkora fűtési teljesítmény elérésére.

A klimatizálás tekintetében mindkét busztípus esetén számolni kell a hatótávcsökkenéssel, amely a szükséges hűtési igénynek a függvénye. A klímaberendezések felépítésében a különbség elsődlegesen a klímakompresszor meghajtásának módja, továbbá az, hogy elektromos buszok esetében elérhetők hűtő/fűtő hőszivattyú berendezések is.

Mindezek alapján tehát belátható, hogy egy elektromos busz esetében igen jelentős hatással van annak üzemére mind a fűtési, mind pedig a hűtési rendszer megfelelő szempontok szerint történő kiválasztása.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00138 kódszámú, „Villamosenergia-felhasználást optimalizáló innovatív rendszer fejlesztése ipari-, lakossági fogyasztók és elektromos járművek számára.” című projekt keretében valósult meg.*

## 3. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KŐFALUSI, P. et al.: *Járműfedélzeti elektronika*. Budapest, BME MOGI, 2014.
- [2] SONFALVI, Á.: *Az elektromos busz kompromisszumai*. [https://www.busworldblog.com/post/e-busz\\_kompromisszum/](https://www.busworldblog.com/post/e-busz_kompromisszum/). (Megtekintés dátuma: 2023. május 18.)
- [3] IMPARI, F.: *Challenges for air conditioning and heating (HVAC) solutions in Electric Buses*. <https://medium.com/@francesco.impari/challenges-for-air-conditioning-and-heating-hvac-solutions-in-electric-buses-d18fc33a0433>. (Megtekintés dátuma: 2023. május 18.)
- [4] 2. ábra: <http://hu.hvh-heater.com/nf-electric-ptc-coolant-heater-8kw-24v-electric-parking-heater-new-electric-water-heater-for-electric-vehicle-product/> (Megtekintés dátuma: 2023. május 18.)
- [5] [omnibusz.blog.hu/2017/08/02/husoljunk\\_a\\_klimaberendezesekrol](http://omnibusz.blog.hu/2017/08/02/husoljunk_a_klimaberendezesekrol) (Megtekintés dátuma: 2023. május 18.)
- [6] 4. ábra: <http://www.valeocompressors.com/en/tm55-tm65> (Megtekintés dátuma: 2023. május 18.)
- [7] 5. ábra: <https://www.guchen.com/all-electric-bus-ac/es-06-electric-bus-air-conditioner.html> (Megtekintés dátuma: 2023. május 18.)